



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**NÁVRH OTOČNÉHO ZÁSOBNÍKU NÁSTROJŮ PRO
ROBOT IRB 4400**

DESIGN OF THE ROTARY RACK FOR THE IRB 4400 ROBOT TOOLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Palčík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vojtěch Štěpánek

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Jakub Palčík**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Vojtěch Štěpánek**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh otočného zásobníku nástrojů pro robot IRB 4400

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Požadavky na variabilitu výrobní buňky se stále zvyšují a s ní i nároky na modularitu používaných robotů a automatická výměna nástrojů robotu se stává standardem. Tato bakalářská práce je věnována návrhu automatického otočného zásobníku pro robot IRB 4400 umístěného ve výrobní buňce ústavu výrobních strojů. V rámci řešení je nutné definovat požadavky na takový zásobník a následně vytvořit řešení odpovídající moderním trendům.

Cíle bakalářské práce:

Rešeršní zpracování současného stavu poznání v oblasti automatické výměny nástroje robotu.
Definice požadavků na zásobník nástrojů z pohledu automatizace výroby.
Návrh několika konceptuálních možností.
Definice kritérií výběru pro volbu optimální varianty.
Stručná analýza možných rizik.
Detailní zpracování zvoleného konceptuálního řešení doplněné o základní technické výpočty.
Výkres sestavy zkonstruovaného zařízení.
Hodnocení dosažených výsledků.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS, VLK, Miloš, ed.
Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských
učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. 1. vyd. 145 s. 1986 ISBN 55-600-86.

BERNÍK, P., Píč, J. Obráběcí stroje - konstrukce a výpočty. 2. vyd. Praha: SNTL, 1986. 573 s. ISBN
04-235-86.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá konstrukčním návrhem rotačního zásobníku pro automatickou výměnu nástrojů u robota. Obsahuje řešení možných komponentů využitelných v konstrukci a v podobných konstrukčních řešeních. V rámci práce vznikl 3D model konstrukce, směřované k co největší jednoduchosti. Konstrukce byla zkontrolována základními technickými výpočty z hlediska potřebného momentu od motoru tak pevnosti konstrukce. Nakonec je k práci vytvořen výkres sestavy a dílu uložení koruny.

ABSTRACT

This work deals with design of rotary tool changer for automatic tool change in robot cell. In addition some research have been done on possible components that will be used in design. Then is made 3D model of design. Main purpose of design is to maximize simplicity. After this designing phase, this design is checked by technical calculations about required torque from motor and basic calculation about strength and stiffness. Finally is created assembly drawing and bearing housing drawing .

KLÍČOVÁ SLOVA

Rotační zásobník nástrojů, automatická výměna nástrojů, krokový motor, rotační aktuátor, hliníkový stavebnicový systém

KEYWORDS

Rotary tool changer, automatic tool changer, stepper motor, rotary actuator, aluminum modular profile system

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PALČÍK, Jakub. Návrh otočného zásobníku nástrojů pro robot IRB 4400 [online]. Brno, 2021, 30s [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132129>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Vojtěch Štěpánek.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Vojtěchu Štěpánkovi, za jeho rady, konstruktivní připomínky, ochotu a především čas, který mi věnoval. Také bych chtěl poděkovat své rodině, která mě podporovala při studiu, protože to není vždy samozřejmostí.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Vojtěcha Štěpánka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 5.5.2021

.....

Palčík Jakub

Obsah

ABSTRAKT	1
KLÍČOVÁ SLOVA	1
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE.....	3
PODĚKOVÁNÍ.....	5
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ.....	7
ÚVOD	11
1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DNES POUŽÍVANÉ	13
2 MOŽNOSTI UPÍNÁNÍ A VÝMĚNY NÁSTROJŮ	14
3 MOŽNÉ TYPY PRACOVNÍCH NÁSTROJŮ.....	16
3.1 Technologické.....	16
3.1.1 Svařovací efekty	16
3.1.2 Efekty pro stříkání nátěrů a ochranných materiálů	17
3.1.3 Odjehlovací efekty	17
3.2 Manipulační	18
3.3 Kombinované.....	18
3.4 Speciální.....	18
4 DRUHY ELEKTROPOHONŮ A ŘÍZENÍ.....	19
4.1 Synchronní s buzením permanentními magnety umístěným na rotoru	19
4.2 Stejnosměrné motory s buzením permanentními magnety.....	19
4.2.1 Motory konvenční (s kotvou ze „železa“)	19
4.2.2 Motor se samonosným vinutím kotvy	20
4.3 Elektronická komutace BLDC.....	20
4.3.1 Motory s homogenním vinutím	21
4.3.2 Motory s vinutím na pólech statoru	21
4.4 Krokové motory	22
5 SENZORY.....	23
5.1 Rotační snímače	23
5.1.1 Optický Inkrementální enkodér	23
5.1.2 Optický absolutní enkodér	24
5.1.3 Resolvery	24
5.2 Indukční senzory	24
5.3 Elektromechanický snímač	25
5.4 Kapacitní senzor	26
5.5 Magnetické senzory	27
6 DEFINICE POŽADAVKŮ A VYTVOŘENÍ KONCEPTŮ.....	29
6.1 Aktuální stav a předpokládaná změna výměny nástrojů	29
6.2 Definice požadavků	29
6.3 Návrh konceptů.....	30
6.4 Bezpečnost zásobníku.....	30
6.4.1 Koncept 1.....	30
6.4.2 Koncept 2.....	31
6.4.3 Koncept 3.....	32
6.5 Porovnání těchto variant	33

7	POPIS VÝSLEDNÉ KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ.....	34
7.1	Otočná hlava zásobníku.....	34
7.2	Polohovací ústrojí.....	35
7.3	Základna zásobníku	36
7.4	Senzory a kabeláž	37
8	VÝPOČTY	39
8.1	Výpočet pro zvolení krokového motoru.....	39
8.2	Kontrola ložiska.....	42
8.3	Kontrola zásobníku pro převrácení	45
8.4	Kontrola šroubového spoje.....	47
8.5	Pevnostní analýza a simulace	51
9	ZÁVĚR.....	53
10	CITOVANÁ LITERATURA	55
11	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	61
11.1	Seznam symbolů.....	61
11.2	Seznam zkratek.....	61
11.3	Seznam tabulek.....	61
11.4	Seznam obrázků.....	61
11.5	Seznam grafů	62
12	SEZNAM PŘÍLOH.....	63

ÚVOD

Moderním trendem při výrobě robotů je, aby byli co možná nejuniverzálnější a rychle se přizpůsobovali novým pracovním úkolům. S tím souvisí také volba nástrojů, které musí být rychle vyměnitelné a musí být k dispozici v široké škále tak, aby splňovaly požadavky vysoce specifických technologických úkolů. Tuto tendenci sledujeme jak u kolaborativních robotů, tak i u klasických výrobních robotů. Vyplývá z ní také zadání této práce, jejímž cílem je navrhnout rotační zásobník pro automatickou výměnu nástrojů, který by umožnil založení více nástrojů a tím splnil požadavek multifunkčnosti. Navržený rotační zásobník by měl být co možná nejlépe upravitelný a měl by disponovat modulárním systémem pro odkládání nástrojů. Tyto požadavky by měl splňovat při zachování maximální jednoduchosti konstrukce.

V předkládané práci nevycházím z cizích konstrukcí ani neupravuji zásobník v buňce již používaný. Jde o vlastní návrh, jehož cílem je dosažení maximální míry realizovatelnosti a použitelnosti v praxi. S navrhováním v takovém měřítku jsem dosud neměl zkušenosti. Pro pochopení konstrukce jednotlivých komponent jsem proto hledal informace na odborných serverech a v odborné literatuře, zejména co se týče praktických výhod a nevýhod různých typů motorů a senzorů. Spíše než o obecně formulované výstupy odborné literatury jsem se opíral o doporučení výrobců daných komponent.

Práci člením do několika oddílů. Nejprve uvádím výsledky průzkumu použití možných komponent. Následující oddíl obsahuje koncepty s použitím těchto komponent. Jádrem práce tvoří kompletní model finální konstrukce a ověření předpokladů výpočty.

1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DNES POUŽÍVANÉ

Zásobníky nástrojů jsou v praxi často řešené stacionárně a nepohyblivě, viz například obrázek č.1 a č.2. Pokud to není bezpodmínečně nutné, například z důvodu nedostatku prostoru nebo bezpečnosti práce, je zbytečné ukládání komplikovat. Minimalizuje se tak možnost vnesení poruch do procesu výroby, náročnost obsluhy a v neposlední řadě také nutnost zvyšování pořizovací ceny buňky. Nástroje jsou převážně ukládány v řadových zásobnících [1].

Konstrukce bývá řešena modulárně, aby bylo možné co nejlépe vyhovět požadavkům na výměnu. Budoucí úpravy zásobníku pro nové požadavky jsou tak snadnější a lépe dosažitelné a především lze tímto řešením minimalizovat náklady. Příkladem tohoto řešení je odkládací systém od společnosti Ati Industrial Automation. Tělo tvoří hliníkové profily ze stavebnicových systémů. Tělo je přes úhelník spojeno se základnou, uchycenou do podlahy. Do drážek v těchto profilech lze dále upevnit konzole. K těmto konzolám už bývají přichycena lůžka pro odkládání nástrojů. V konzolách bývá často prostor pro upevnění nejrůznějších druhů snímačů určujících zaplnění nástrojem. Lůžek existuje více typů, jejich výběr a následné použití se odvíjí od přírub a koncových efektorů v nich upnutých. Společný prvek, vlastní všem typům lůžek, představuje funkční část, která slouží k přesnému ustavení příruby. Toto ustavení bývá zajištěno například centrujícími kužely nebo prizmatickými drážkami po stranách lůžka atd. [2] [1]. Ne vždy je tento nebo jemu podobný modulární systém možné zrealizovat např. kvůli nedostatku místa, dostupnosti atd. V těchto případech se využívají specifické konstrukce. Patří k nim také použití pohyblivých zásobníků například rotačního zásobníku, jehož návrhem se bude zabývat tato práce. Jejich výhodou jsou možné menší rozměry a možnost výměny například porouchaného efektoru s minimálním omezením výroby, aniž by byl operátor vystavený nebezpečí. Výhod je více, jsou však v kontrastu s riziky a jejich volba tedy závisí na konstruktérovi.



Obr. 1 Modulární stacionární zásobník od firmy ATI [3]



Obr. 2 Nemodulární zásobník [4]

2 MOŽNOSTI UPÍNÁNÍ A VÝMĚNY NÁSTROJŮ

Koncové efekторы jsou s robotem spojovány pomocí speciálních přírub, jak je vyobrazeno na obrázku č.3. Pro co nejširší kompatibilitu, se používají příruby splňující normu ISO 9409-1:2004, které lze namontovat na lící desku robota, která také splňuje normu ISO 9409-1:2004 [5]. Pokud robot nebo efektor nesplňuje tuto normu, je zapotřebí vyrobit mezipřírubu. Příruba je také upevněna přímo na koncovém efektoru, tvoří protikus. Automatická výměna tedy probíhá na rozhraní těchto přírub [1]. Příruby by měly být co nejlehčí, aby co nejméně snižovaly možnou nosnost robota. Zároveň by ale nikdy neměly být omezující pro robota s ohledem na jeho maximální dosažitelnou nosnost [6].



Obr. 3 Schunk příruba na straně robota a na straně nástroje, systém SWS [7]

Vyráběné příruby musí zajistit jak mechanické spojení robota s efektory, tak přenos medií potřebných pro chod efektoru nebo přenos dat potřebných pro řízení a kontrolu technologické operace. Spojení přírub může být zajištěno magneticky nebo mechanicky. Pohon těchto spojení bývá elektrický, pneumatický, nebo hydraulický. Nejčastěji dnes používaná kombinace je spojení kuličkovým adaptérem ovládaným pneumaticky. Příruby také plní funkci vystředění vůči sobě navzájem. Toho to je nejčastěji dosaženo pasivně pomocí tvarového styku, například pomocí středících kuželů, nebo aktivně pomocí senzorů polohy. Neméně důležitá je ochrana před kolizí, která snižuje náklady na opravu nebo může dokonce zamezit poškození některé části robota tím, že robota zastaví, nebo ulomí jeho část. Ochrana může být založena na cíleném lomu, mechanickém principu předepjaté pružiny nebo elektronicky skrze senzory. Ochrana může být vložena mezi příruby nebo pod přírubu a lícni desku robota, pro názornost ukázka na obrázku č.5 [1]. Konstrukce přírub je z části modulární, aby vyhovovala různým aplikacím. Na boky přírub lze doplnit moduly, které mohou obsahovat např. senzory, různé konektory pro elektroniku (výkonovou, řídicí) či tlaková media. Tyto konektory lze vidět na obrázku č.4. Nejznámějšími výrobci na trhu jsou firmy Schunk a Ati Industrial Automation [8].

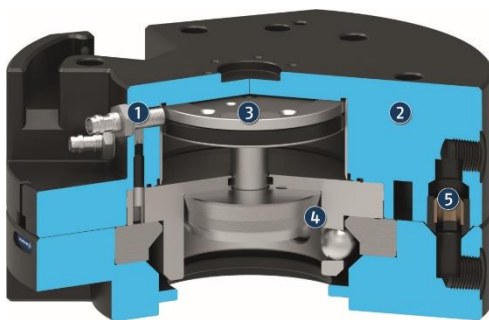


Obr. 4 Modul pro přenos elektrických signálů [9]



Obr. 5 Ochranný modul proti kolizi od firmy Ati [10]

Příkladem je modulární systém výměny SWS od firmy Schunk, viz obrázek č.6. Systém používá pneumaticky ovládaný kuličkový mechanismus. Jeho klíčovou bezpečnostní vlastností je, že při ztrátě tlaku vzduchu nedojde k upadnutí efektoru, ale k zajištění příruby [1]. Všechny jeho varianty splňují ISO 9409-1:2004. Podobný systém využívá i firma Ati.



Obr. 6 Řez upínacím mechanismem od firmy Schunk [11]

3 MOŽNÉ TYPY PRACOVNÍCH NÁSTROJŮ

Konstrukční rozdělení koncových efektorů dle publikace Zdeňka Kolíbala *Roboty* [1]:

3.1 Technologické

Jde o koncové efekty, které se přímo účastní technologické operace pomocí nástroje nebo stroje. Nejčastěji jde o svařování (obloukové, bodové), nanášení nátěrů, nanášení lepidel, odjehlování, speciální aplikace, atd. [1]. Následovat budou příklady.

3.1.1 Svařovací efekty

Častá aplikace v automobilovém průmyslu a ve velkosériových aplikacích. Pro využití tavného obloukového svařování vzniká vedle potřeby přívodu vysokého napětí také potřeba přívodu inertního plynu. Příklad efektoru na obrázku č.7.



Obr. 7 Robot s koncovým efektozem pro bodové svařování [12]

3.1.2 Efektory pro stříkání nátěrů a ochranných materiálů

Používají se jak řešení pomocí efektorů s důrazem na flexibilitu robota, tak specializované roboty, které už mají uzpůsobenou konstrukci. Příklad na obrázku č.8.



Obr. 8 Koncový efektor pro nanášení barev [13]

3.1.3 Odjehlovací efektory

Samotné odjehlovací nástroje lze měnit pomocí efektoru, nemusí se měnit celý efektor. Nástroje jsou upnuty v odjehlovacím vřetenu, které lze vidět na obrázku č.9 [14].



Obr. 9 Odjehlovací vřeteno [15]

3.2 Manipulační

Účelem těchto efektorů je uchopení a následná manipulace s objektem. Jejich konstrukce je uzpůsobena jejich použití, proto se vyskytuje v široké škále variant od univerzálních až po vysoce specifické varianty, vhodné pouze pro jeden účel. Základní dělení je vytvořeno podle způsobu aktivace úchopné síly u úchopných prvků, které jsou součástí efektoru a zajišťují přímé uchopení objektu. Dělí se na mechanické, podtlakové, viz obrázek č.11, a magnetické, viz obrázek č.10. Úchopové prvky lze také rozdělit na pasivní a aktivní. Aktivní úchopný prvek je takový, který je možno ovládat řídicím systémem, pasivní nikoliv [1].



Obr. 10 Podtlakový uchopovač [16]



Obr. 11 Aktivní magnetický uchopovač [17]

3.3 Kombinované

Jedná se o kombinaci technologického a manipulačního efektoru. Tento efektor může vykonávat i více technologických operací. Výhodou tohoto spojení je značná časová úspora z důvodu odpadávající nutnosti přepínání objektu a také zjednodušení struktury pracoviště. Použití bývá často jednoúčelové [1].

3.4 Speciální

Do této kategorie se řadí zbytek manipulačních koncových efektorů, který nelze zařadit do předchozích kategorií. Jde o vysoce specializované jednoúčelové efekторы. Konstrukce těchto zařízení je často osazena senzory [1].

4 DRUHY ELEKTROPOHONŮ A ŘÍZENÍ

Jako pohon pro natáčení tohoto zásobníku není příliš vhodné využívat hydromotor, ani pneumatický pohon. Obě řešení by vyžadovala zapojení tlakových médií, což by zkomplikovalo zapojení do buňky. Výsledná cena obou těchto řešení převyšuje cenu při využití elektrického servomotoru. Velké výkony hydromotoru jsou pro tuto aplikaci zároveň zbytečně předimenzované a navíc je u nich složitější dosáhnout rychlejšího polohování. Tato část rešerše bude tedy zaměřena na vybrané elektrické servopohony, které považuji za vhodnější kandidáty pro využití.

4.1 Synchronní s buzením permanentními magnety umístěným na rotoru

Jak již z principu funkce vyplývá, otáčky rotoru a statoru jsou synchronní. Tudíž je vhodnějším pro polohové řízení. Oproti asynchronnímu bývá ale dražší. Rozběh probíhá pozvolným zvyšováním frekvence napětí. Hodí se pro řízení v uzavřené smyčce. Bývá řízen také frekvenčním měničem metodou PWM. Toto řízení vyžaduje zpětnou vazbu ohledně polohy rotoru a bývá dosaženo pomocí enkodéru. V praxi bývají využívány zejména pro pohyb hlavních os. Reverzace lze dosáhnout skrze frekvenční měnič v kombinaci s elektromagnetickou brzdou [1]. Příklad průmyslového synchronního motoru na obrázku č.12.



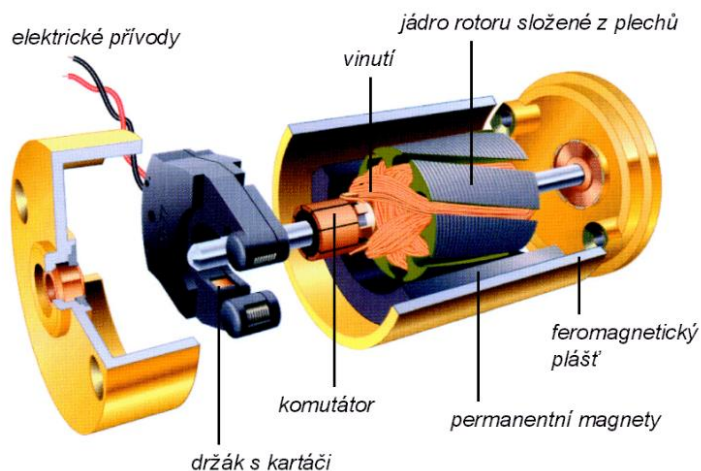
Obr. 12 Synchronní motor s permanentními magnety na rotoru [18]

4.2 Stejnosměrné motory s buzením permanentními magnety

Konstrukčně se dělí na dvě skupiny. Na motory s kotvou ze železa a na motory se samonosným vinutím kotvy [1].

4.2.1 Motory konvenční (s kotvou ze „železa“)

Jejich výkon je většinou dosahován při jmenovitých otáčkách ne větších než 3000ot/min. Pokud musí být motor používán ve vyšších otáčkách, dochází k nárůstu ztrát a tím pádem k oteplení motoru. Tato konstrukce je pro dynamické operace méně vhodná než konstrukce se samonosným vinutím kotvy, která má menší moment setrvačnosti [1]. Příklad na obrázku č.13.



Obr. 13 Řez motoru s kotvou ze železa [19]

4.2.2 Motor se samonosným vinutím kotvy

Tyto motory jsou oproti konstrukci s kotvou ze železa schopny mít pracovní otáčky 10000ot/min. Mají také větší účinnost, pohybující se kolem 80% až 90%. Například v porovnání s parametry srovnatelným synchronním motorem, který má účinnost 60%. Mají velké hodnoty měrné hmotnosti W/Kg nebo měrné rozměry W/m³ [1]. Příklad motoru na obrázku č.14.



Obr. 14 Řez motoru se samonosným vinutím [20]

Obě tyto konstrukce jsou řízeny PWM. Řízení je prováděno pulzním měničem, kterým lze docílit také zpětného chodu. Zpětná vazba může být řešena enkodéry, resolvery, Halloovým senzorem [1] [21] [22].

4.3 Elektronická komutace BLDC

Motor je v principu synchronní s buzením permanentními magnety na rotoru, oproti tomu je však napájen stejnosměrným proudem, nikoliv střídavým. Odpadá použití komutátoru a z toho

plynoucích opotřebování kartáčů. Tento motor tedy spojuje výhody stejnosměrných motorů a synchronních motorů. Řízení je prováděno pomocí frekvenčního měniče, který spíná elektronické komutátory dle řídicí elektroniky [23]. Poloha je řízena podle nejčastěji tří halových senzorů, lze ji kontrolovat také bezsenzorově. Tyto motory se dělí na dvě konstrukce: motory se soustředným vinutím a motory s homogenním vinutím [1].

4.3.1 Motory s homogenním vinutím

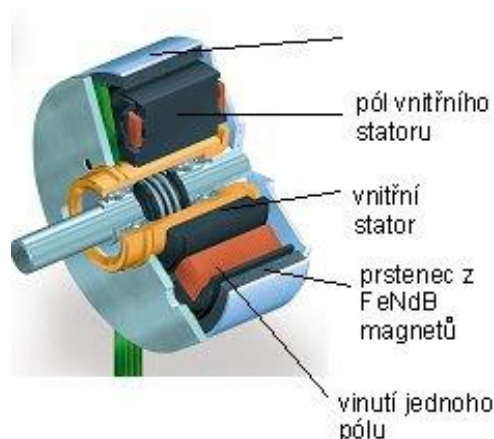
Jejich nevýhoda spočívá v nižším trvalém zatěžovacím momentu s rostoucími otáčkami vůči srovnatelným stejnosměrným motorům z důvodů bezpečnosti vůči zahřívání motoru. V případě provedení se samonosným vinutím má rotor větší moment setrvačnosti, z čehož vyplývají horší dynamické vlastnosti, než u srovnatelných stejnosměrných motorů se samonosným vinutím. Přesto jsou v praxi používány na velmi dynamické operace. Tyto motory mají velmi klidný chod bez vibrací. [1]. Příklad motoru na obrázku č.15.



Obr. 15 Řez motoru s homogenním vinutím [24]

4.3.2 Motory s vinutím na pólech statoru

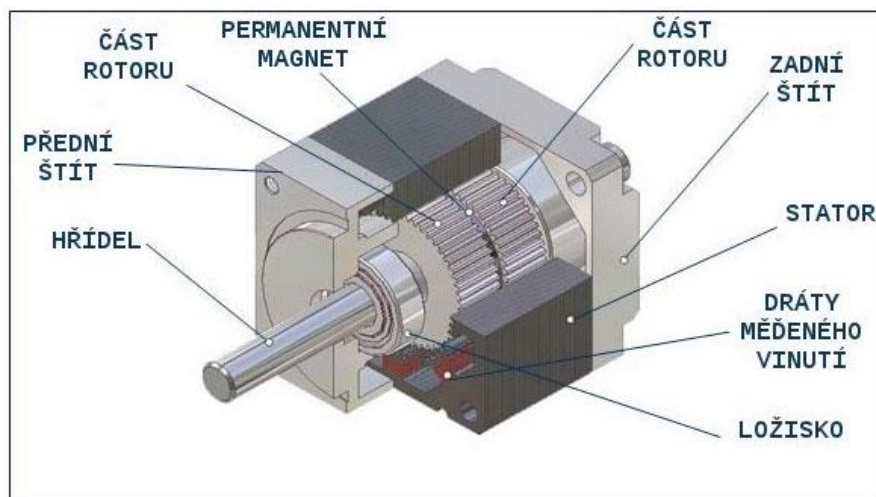
Vhodné pro aplikace vyžadující velký moment v celém rozsahu provozních otáček. Maximální otáčky dosažitelné motorem jsou nižší oproti motoru s homogenním vinutím. Mají však větší moment až o 20 % při stejném objemu. Jsou levnější a hodí se více pro dynamické aplikace. Tyto výhody jsou však dosaženy za cenu většího reluktančního momentu [1]. Příklad toho motoru na obrázku č.16.



Obr. 16 Řez motoru s elektronickou komutací s vinutím na pólech [24]

4.4 Krokové motory

Princip funkce je podobný jako synchronní motor. Po přivedení pulzu se motor natočí o daný úhel, který se nazývá krok. Řízení motoru nevyžaduje zpětnou vazbu, motor pracuje v otevřené smyčce. Chyba natočení motoru neroste s přibývajícími kroky. Napájení motoru je stejnosměrné skrze řídicí obvod. Tyto motory nejsou tak rychlé jako motory s elektronickou komutací a jako stejnosměrné motory. Jsou používány k nastavování polohy při nízkých otáčkách. Vytváří velké statické momenty, jsou vhodné pro režim start-stop. Konstrukčně se dělí na dvě, potažmo tři konstrukce, a to: reluktanční, s aktivním rotorem a hybridní, což představuje kombinaci předchozích dvou konstrukcí [1]. Příklad hybridního krokového motoru viz obrázek č.17.



Obr. 17 Řez hybridním krokovým motorem [25]

Motory s aktivním rotorem jsou přesnější než reluktanční při použití stejného počtu cívek, mají také dvakrát tolik kroků spolu s hybridními.

Při ovládání lze využít metodu mikrokrokování, čímž lze docílit ještě menších kroků. Nelze použít u všech krokových motorů, nejčastější využití je pro hybridní motory.

Při srovnání se stejnosměrnými motory a s motory s elektronickou komutací mají krokové motory menší hodnoty měrných rozměrů. Vykazují velký pokles momentu s rychlejším krokováním, neznámou odchylku polohy při řízení v otevřené smyčce z důvodu zatěžovacího momentu a v neposlední řadě je třeba počítat s vysoce pravděpodobnou možností ztráty kroku při momentovém přetížení. [1]

5 SENZORY

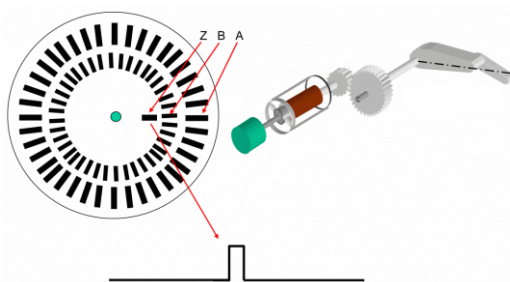
Senzory jsou nezbytnou součástí každé moderní konstrukce, využívané v automatizované výrobě. Pro tuto konstrukci budou nutné senzory pro určení polohy, do které se zásobník natočil, dále pro nastavení referenční polohy po zapnutí stroje a pro určení zaplnění pozice. Při výběru těchto senzorů pro různé aplikace je důležité udělat si rešerši nejvyužívanějších senzorů, jejich výhod a nevýhod, nebo například jejich tvarového a montážního provedení. Teprve po zhodnocení lze vybrat vhodný typ senzoru.

5.1 Rotační snímače

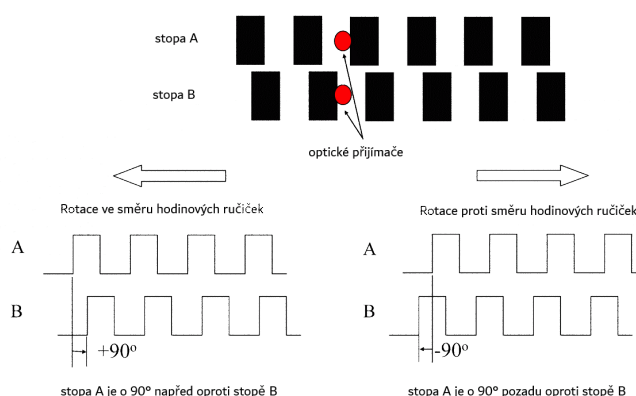
Slouží pro zjišťování polohy natočení motoru a umožňují změřit úhlovou rychlost a také zrychlení. Dělí se na absolutní a inkrementální. Dále lze dělit dle provedení na enkodér s hřídelí a enkodér s dutinou. Enkodéry s dutinou začínají nabývat na popularitě díky snadnější montáži, odpadávající nutnosti hřídelové spojky a s tím spojeným možným prokluzem [26].

5.1.1 Optický Inkrementální enkodér

Je konstrukčně jednodušší, je tvořen diskem s posloupností opticky průhledných a neprůhledných otvorů, optickým vysílačem, optickým přijímačem. Princip funkce-disk je upevněn na hřídeli, která je spojena s hřídelí motoru. Při rotaci rotoru se natáčí disk osvětlený světelným zdrojem a je umístěný před diskem. Toto světlo může procházet jen skrz průhledné otvory a dopadat na optický přijímač, umístěný za tímto kotoučem. Takto aktivovaný snímač poté světlo převede na elektrické impulsy nebo obdélníkový signál, jak je znázorněno na obrázku č.18. Na kotouči jsou dvě stopy těchto průhledných otvorů pod sebou a jsou vůči sobě posunuté tak, aby na výstupu byly od sebe elektrické impulsy posunuty o 90 stupňů. Tyto dvě řady se obecně nazývají A a B a slouží pro určení, zda signál z řady A předbíhá signál z řady B, nebo naopak. Následně lze dle toho určit, na jakou stranu je hřídel otáčena. Pod těmito řadami bývá ještě poslední otvor, který udává právě jeden impuls na otáčku a slouží ke zjišťování referenční polohy. Toto rozložení děr je znázorněno na obrázku č.19. Tento druh enkodéru umí určovat jen úhel natočení relativně vůči posledním natočení, není schopen určit polohu hřídele absolutně [1].



Obr. 18 Náčrtek disku enkodéru s 3 řadami děr [27]

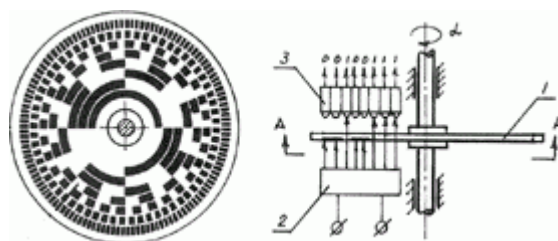


Obr. 19 Ukázka obdélníkového signálu z enkodéru [28]

5.1.2 Optický absolutní enkodér

Na rozdíl od inkrementálního je zde výstupem kód, který udává absolutní úhel natočení v rozsahu 360 stupňů. Konstrukčně je podobný, má však více optických přijímačů v závislosti na počtu stop na disku. Každá stopa má svůj přijímač a dle toho je taky předem dán počet bitů na výstupu. Schéma absolutního enkodéru viz obrázek č.20. Výsledkem propuštění světla v jednotlivých stopách je unikátní kód. Nejčastěji jsou používány dva typy kódů grayuv a binární. Dnes je častěji používán grayuv z důvodu negenerování hazardních stavů, které vznikají nežádoucími optickými jevy. Nejčastěji používané je 32-bitové kódování [1].

Existují i rotační enkodéry magnetické, které využívají princip Hallova jevu. Tento jev bude popsán dále v této rešerši v magnetických senzorech.



Obr. 20 Schéma absolutního enkodéru s 8 bity [29]

5.1.3 Resolvery

Oproti enkodérům se jedná o jednodušší snímače. Neobsahují žádnou elektroniku, a z toho důvodu jsou méně náchylné na vyšší teplotu, vibrace a radiaci. Z těchto vlastností plyne jejich větší spolehlivost. Princip funkce resolverů spočívá v převádění vstupního střídavé napětí z primárního vinutí přichyceného na rotoru na dvě výstupní střídavé napětí do dvou vůči sobě o 90 stupňů potočených vinutí. Jedno vinutí je označované jako sinusové, druhé jako cosínové. Na základě výstupní amplitudy, která je získána složením těchto dvou průběhů napětí ze sekundárních vinutí, je možné určit úhel natočení rotoru [30].

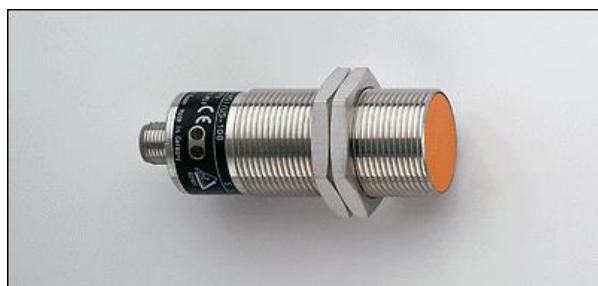
5.2 Indukční senzory

Jsou bezkontaktní senzory, které slouží pro detekci nebo měření vzdálenosti, ale pouze kovových materiálů. Princip funkce senzoru je založen na vysokofrekvenčním

elektromagnetickém střídavém poli. Aktivním prvkem je zde cívka, ze které vystupují pólové nástavce. Tato cívka je napojena na oscilátor. Vysokofrekvenční střídavý proud generovaný oscilátorem prochází cívkou a vytváří magnetické pole. Pokud se do blízkosti magnetického pole přiblíží kovový materiál, vzniknou v materiálu indukované magnetické proudy. Tyto proudy způsobí, že cívka je jimi zpětně ovlivněna a změní svojí impedanci z čehož plyne že indukované proudy, odebírají energii z magnetického pole a snižují velikost oscilační amplitudy. Tato změna je pak vyhodnocena a dochází ke změně stavu na koncovém prvku. Dále jsou uvedeny typy provedení snímačů v praxi. Snímač ve vazebním provedení nemusí být umístěn s nějakým přesahem aktivní části senzoru vůči kovovým materiálům, je zobrazen na obrázku č.21. Snímač v nevazebním provedení musí být umístěn za určitých podmínek, je náchylný na okolní kovové materiály a mohlo by dojít k chybnému stavu, je zobrazen na obrázku č.22. Tvary těchto snímačů jsou válcové a mohou být jak hladké, tak se závitem na těle snímače, nebo v kvádrovém provedení. Mají velmi dlouhou životnost, z důvodu bezkontaktního měření nedochází k mechanickému opotřebení. Detekce kovového materiálu je většinou v rozsahu vzdálenosti 0,1 mm až 10 mm, zaleží na velikosti snímače, detekujícího objektu a jeho natočení vůči snímači. Jsou odolné vůči elektromagnetickému rušení. Lze je použít v pracovním prostředí, kde je prach, vlhkost, olej, voda a poměrně vysoká teplota. [1]



Obr. 21 Nevazební provedení [31]



Obr. 22 Vazební provedení [32]

5.3 Elektromechanický snímač

Jde o nejjednodušší dotykový snímač, v praxi nejvíc rozšířený v podobě koncového nebo havarijního. Dotykový senzor se skládá ze zapouzdřeného tlačítka z důvodu zamezení vniknutí kapalin a pevných částí. Pohyblivé části, které přenáší sílu na tlačítko, jsou voleny podle rychlosti, kterou se pohybují. Sílu lze přenášet pístkem, rolnou, kuličkou a dalšími. Příklady spínačů na obrázcích č.24 a č.23. Po přenesení síly dojde ke spojení, nebo rozpojení obvodu. Nejsou potřeba žádné převodníky nebo zesilovače. Využívají se pro sepnutí na konci dráhy, nebo pro přejetí dané polohy. [1]



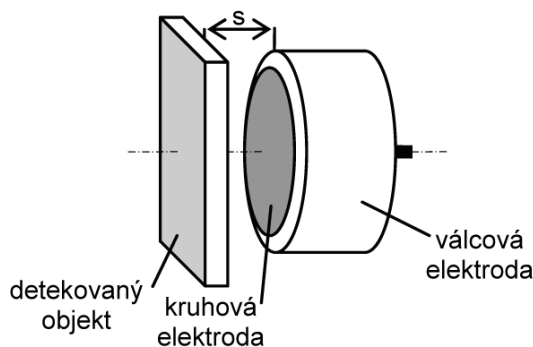
Obr. 23 Koncový spínač s rolnou [33]



Obr. 24 Mikrospínač [34]

5.4 Kapacitní senzor

Podobně jako indukční senzor slouží k bezdotykovému snímání polohy objektu. Na rozdíl však od něj funguje pro jakýkoliv materiál (není podmínkou, aby byl elektricky vodivý). Hlavní aktivní část senzoru se skládá ze dvou soustředně umístěných elektrod, jak lze vidět na obrázku č.26. Tyto elektrody jsou umístěny v uzavřeném elektrickém poli vysoko frekvenčního oscilátoru. Pokud není v blízkosti senzoru žádný objekt, má kapacitní reaktance senzoru malé hodnoty, stejně jako amplituda kmitání. Pokud se k senzoru přiblíží elektricky nevodivý materiál, začne vstupovat do elektrického pole mezi elektrodami. Vliv objektu způsobí změnu permitivity a tím vazební kapacity mezi elektrodami. Amplituda kmitání vytvářeného osciloskopem se začne zvětšovat. Tento nárůst je vyhodnocen obvodem, který vyše výstupní signál ze senzoru. Pokud se k senzoru přiblíží materiál, který je elektricky vodivý, stane se z něj další elektroda. Obě soustředné elektrody spolu s vloženou nyní mezi sebou tvoří dvě kapacitní reaktance a chovají se, jako by byly zapojeny v sérii. Kapacitní reaktance je v tomto případě větší, než když žádný vodivý materiál nebyl vložen do elektrického pole soustředných elektrod na snímači. Podobně jako indukční senzory jsou vyráběny ve dvou variantách, a to ve vestavném nebo nevostavném provedení. Nevostavné provedení má specifické požadavky na montáž z důvodu možného ovlivnění měření. Tvary bývají válcové se závitem i bez závitu na těle, nebo kvádrové. Ukázka těchto provedení viz obrázek č.25. Spínací vzdálenosti jsou největší u elektricky vodivých materiálů a naopak se snižují s nevodivými materiály. Jejich výhodou je dlouhá životnost, zapříčiněná tím, že nedochází k mechanickému kontaktu a tudíž k opotřebení. Nejsou tak odolné vůči elektromagnetickému rušení jako indukční a mají nižší spínací frekvence [1].



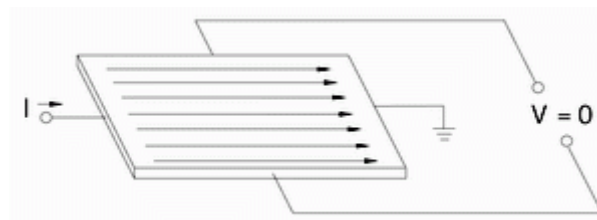
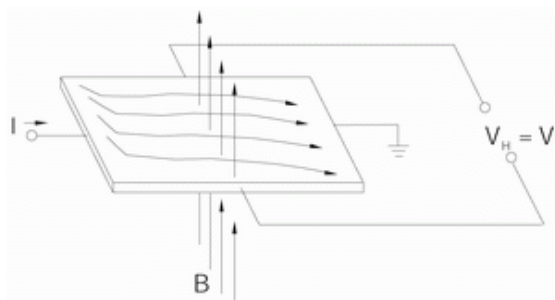
Obr. 25 Ukázka snímání [35]



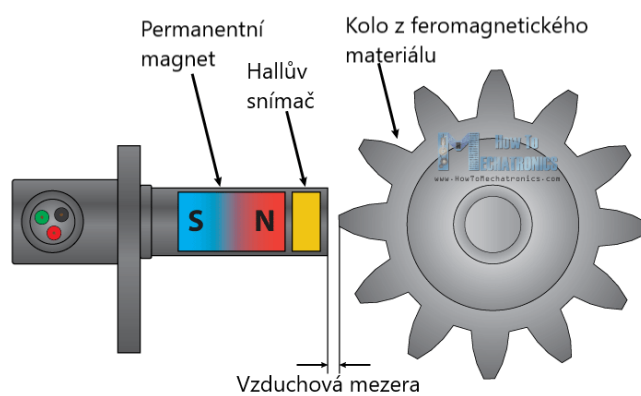
Obr. 26 Příklady provedení kapacitních senzorů [36]

5.5 Magnetické senzory

Velká část magnetických senzorů funguje na principu, který se nazývá Hallův jev. Hallův jev popisuje vliv magnetického pole na směr, kterým protéká elektrický proud. Princip, při kterém dochází k tomuto jevu, je takový, že pokud přiblížíme k polovodičové destičce kolmo orientované magnetické pole, tak vlivem magnetické indukce způsobené magnetem dojde k vychýlení elektrického proudu. Výsledkem toho působení dochází k rozdílu napětí na bočních stranách destičky. Tento rozdíl je úměrný působení intenzity magnetického pole. S čím větší intenzitou působí na destičku, tím větší je rozdíl napětí na okrajích. Tento jev je zobrazen na obrázku č.27. Senzory fungující na tomto principu lze tedy využívat na měření umístění a také pohybu. Velkou výhodou oproti indukčním a kapacitním senzorům je jejich rozměr a možnost miniaturizace. Senzory se dělí na dva druhy, a to přímý magnetický senzor s Hallovým snímačem a senzor s vychýleným Hallovým snímačem, který je zobrazen na obrázku č.28. Přímý magnetický senzor se využívá pro detekci magnetu, senzor s vychýleným Hallovým snímačem se používá pro detekci feromagnetického materiálu. Design přímého magnetického senzoru umožňuje umístění do blízkosti kovových neferomagnetických materiálů, reaguje pouze na magnet. Design s vychýleným Hallovým snímačem spočívá v umístění permanentního magnetu za Hallův snímač dohromady do jednoho pouzdra. Pokud se přiblíží feromagnetický materiál ze strany Hallova snímače, dojde ke změně velikosti magnetického pole, které je kolmé k tomuto snímači, což opět vede k rozdílu napětí. Nevýhodou je, že funguje jen pro malé vzduchové mezery mezi objektem a snímačem a tudíž má malý dosah [1].



Obr. 27 Princip Hallova jevu [37] [38]



Obr. 28 Ukázka principu s vychýleným Hallovým snímačem [39]

6 DEFINICE POŽADAVKŮ A VYTVOŘENÍ KONCEPTŮ

6.1 Aktuální stav a předpokládaná změna výměny nástrojů

Výrobní buňka aktuálně používá stacionární zásobník vlastní výroby se třemi pozicemi pro nástroje. Její rozložení lze vidět na obrázku č.29. Dle navrhovaného konstrukčního řešení nahradí nový zásobník v místě zásobník stávající, a přitom bude vycházet ze zadaných rozměrů výrobní buňky. Samotný robot je na lineárním vedení. Výměna doposud probíhala tak, že robot dojel na pozici výměny, z boku nasunul koncový efektor do lůžka a odjistil upínací mechanismus. Následně si v jiné pozici upnul nový koncový efektor. Pokud by ústav chtěl rozšířit počet pozic, musel by postavit nějaký regálový půlkulatý zásobník, který by měl víc pozic a byl jednodušší. Jelikož se jedná u učební prostředek, je důležitější, aby si studenti osvojili možnost pracovat s nestacionárním zásobníkem, který představuje v některých případech jedinou možnou volbu. Výměna u rotačního zásobníku bude probíhat tak, že robot si vezme z vyvolané pozice nástroj a zásobník čeká na místě. Poté co dojde v programu na změnu nástroje, robot opět vrátí nástroj do pozice, která stále setrvává na svém místě. Robot se poté přesune do bezpečné vzdálenosti, zásobník natočí hlavu do požadované polohy a robot se přesune a upne nástroj. Tento proces se následně opakuje s programem.



Obr. 29 Aktuální rozložení výrobní buňky [40]

6.2 Definice požadavků

Zásobník musí mít osm pozic. Zásobník může být široký maximálně 1200 mm a to včetně ochranného válce pro jednotlivé nástroje. Ochranný válec je široký 350 mm. Maximální výška zásobníku může být 1000 mm. Tyto rozměry jsou dány místem ve výrobní buňce. Minimální nosnost jednoho místa v zásobníku musí být 30 kg. Pro výpočet pohybového ústrojí je nutno

uvažovat hmotnost jedné pozice 20 kg. Maximální dosahovaná úhlová rychlost je $\pi/3$ rad/s. Pro rozběh a doběh motoru je požadovaný čas 2,5 s. V konstrukci je nutné počítat s potřebou vyhodnocení, která pozice je zaplněna nástrojem a která naopak ne. Z důvodu cíleného řízení je nutné také vyhodnotit, v jaké poloze je zásobník natočen.

6.3 Návrh konceptů

Z rešerše vyplynulo, že na trhu se nenachází komerčně dostupný, lehce modifikovatelný rotační zásobník na koncové efektoře. Tudíž nelze vycházet z žádného návrhu a je potřeba navrhnout více konceptuálních řešení a zhodnotit jejich vhodnost. Konstrukční podobnost některých uzlů lze shledat v revolverových zásobnících pro obráběcí centra. Všechny koncepty budou využívat ve velké míře nakupované a normalizované součásti, aby bylo možné konstrukci vyrobit co nejrychleji a co možná nejlevněji.

6.4 Bezpečnost zásobníku

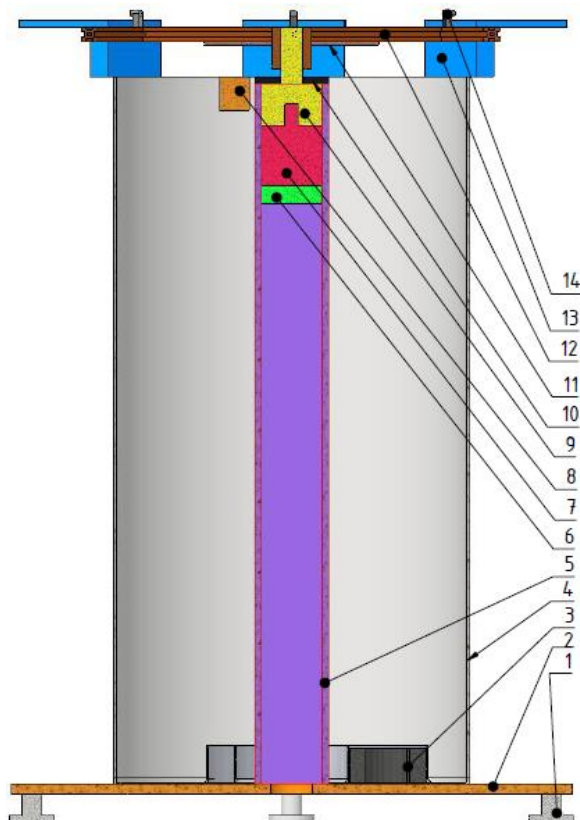
Moderní konstrukce robotů a zařízení s nimi spojených musí splňovat přísné bezpečnostní normy. Případná hrozící nebezpečí se dají rozdělit do kategorií dle povahy způsobených zranění na mechanická, elektrická, tepelná, vytvořená hlukem, vytvořená vibracemi, zářením, nebezpečí vytvářená materiály a látkami, ergonomická, spojená s prostředím a nebezpečí vzniklá kombinací těchto druhů [1].

U navrhované konstrukce hrozí nejpravděpodobněji nebezpečí mechanické, kdy by mohlo dojít k naražení hlavy zásobníku při rotaci do nějaké části lidského těla. Eventuálně by také mohlo dojít k převrácení zásobníku na člověka. Elektrické nebezpečí při normálním provozu bez závad nehrozí, neboť v konstrukci nebude žádný odhalený vodič, vyskytovat se bude potenciálně konektor, sloužící k určení založení nástroje v lůžku. Tento konektor bude ale převádět jen signálové napětí. Půjde tedy pouze o nízké napětí, při kterém nehrozí nebezpečí. Zaplněnost bude s největší pravděpodobností kontrolována bezkontaktním senzorem. Poslední možné nebezpečí může nastat při kontaktu lidského těla s motorem, který by byl dlouhodoběji v provozu, nebo by byl přetěžován. Ostatní nebezpečí zde nehrozí, protože zásobník nevibruje, nevyzařuje žádné záření, nevyžaduje častou manipulaci, atd. Všechna výše uvedená nebezpečí jsou eliminována. Zásobník bude umístěn uvnitř buňky vytvořené na ústavu. Ta disponuje kompletním bezpečnostním systémem, obsahujícím světelné závory z jediné přístupové strany, přičemž ostatní strany jsou zamřížovány. V této práci tedy není nutné řešit bezpečnostní aspekty konstrukce. K menším opatřením by bylo nutno sáhnout pouze v případě požadavku na úpravu buňky pro větší využitelnost zásobníku. Zásobník by byl při svém provozu částí venku a v případě nutnosti výměny vadného nástroje v zásobníku by nemuselo dojít k takové časové prodlevě. Za tímto účelem by došlo ke snížení otvoru v oplocení, ve kterém jsou další světelné závory a vedle kterého se nachází stávající stacionární zásobník. Pak by zde musel být nainstalován ještě další bezpečnostní plech proti zachycení člověka.

6.4.1 Koncept 1

Koncept, který je zobrazen na obrázku č.30, používá stavebnicový systém hliníkových profilů 45/8, ze kterého je vytvořena otočná část. Středová část je tvořena ocelovým uzavřeným čtvercovým profilem. Spodní část je tvořena základním křížem z tlustostěnného plechu. S podlahou je spojen pomocí výškově nastavitelných nožiček. Uvnitř profilu je uložena planetová převodovka, do které je vsunut krokový motor. Otočná část je upevněna šrouby k přírubě na

hřídeli. Tato hřídel je uložena ve dvou kuželíkových ložiscích do O. Přes spojku je spojena s výstupní hřídelí od planetové převodovky. O kontrolu polohy se stará absolutní enkodér integrovaný uvnitř motoru spolu s optickým snímačem, který snímá odražené paprsky z odrazek nalepených na spodní straně koruny. Pro určení založení nástroje do odkládacího lůžka jsou využity kapacitní senzory. Kabelové svazky k motoru vedou skrz otvor v kříži. Kabelové svazky k sensorům vedou po otočné části do energetického řetězu, který se bude navíjet a odvíjet v rotačním modulu. Prostor mezi odkládacími lůžky a středou části je krytován.

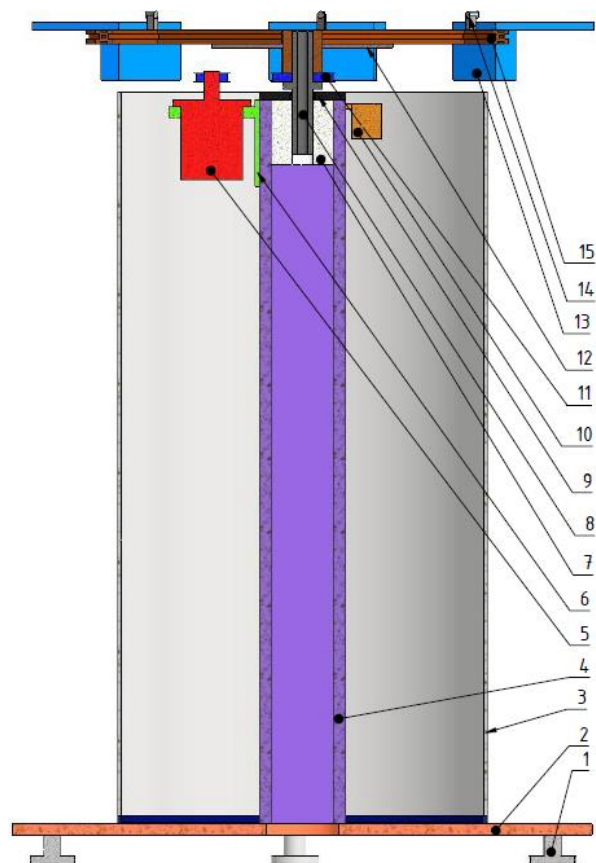


Obr. 30 Řez konceptem 1 [41]

1-stavěcí nohy, 2-základní kříž, 3- navíjecí rotační modul, 4-kryt, 5-uzavřenný profil, 6-enkodér, 7-krokový motor, 8-optický snímač, 9-planetová převodovka s uložením, 10-víko pro uchycení polohovacího ústrojí, 11-disk s odrazkami, 12-koruna zásobníku, 13-lůžko, 14-kapacitní senzor

6.4.2 Koncept 2

Koncept zobrazený na obrázku č.31 vychází z předchozího konceptu. Došlo zde k několika úpravám. Převod zde není řešen pomocí planetové převodovky, ale pomocí řemenového převodu. Kabelové svazky mohou vést uvnitř zásobníku a odpadá tedy nutnost navíjecího rotačního modulu. Nevýhodou řemenového převodu je **nutnost** jeho napnutí, které musí být mechanicky vyřešeno.

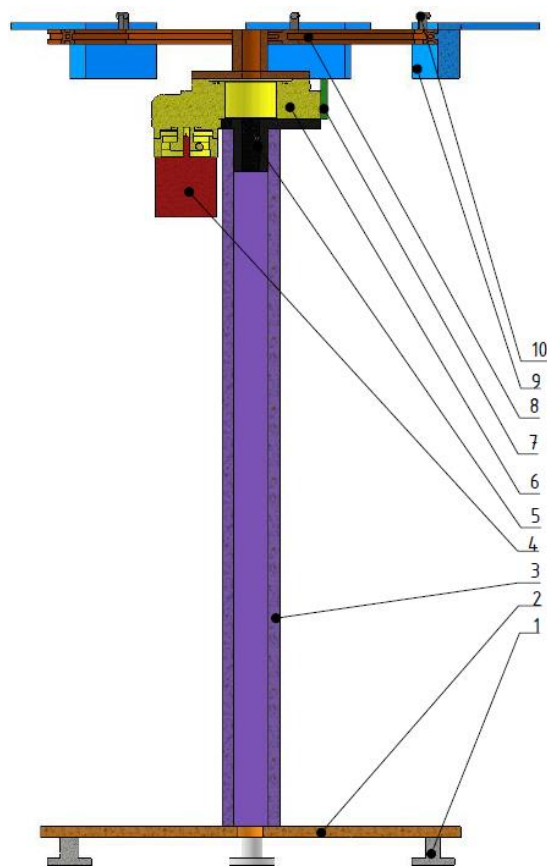


Obr. 31 Řez konceptem 2 [41]

1-stavěcí nohy, 2-základní kříž, 3-kryt, 4-uzavřený profil, 5-krokový motor s enkodérem, 6-držák motoru, 7-uložení hřídel, 8-dutá hřídel, 9-víko pro uchycení uložení, 10-optický snímač, 11-řemenový převod, 12-disk s odrazkami, 13-lůžko, 14- kapacitní senzor, 15-koruna zásobníku

6.4.3 Koncept 3

Koncept zobrazený na obrázku č.32 sdílí společný základ s předchozími koncepty. Převod je zde proveden ozubenými koly, které jsou součástí aktuátoru. O určování polohy se stará enkodér přímo v motoru spolu se světelnou závorou, proto zde není disk s odrazkami. O uložení a uchycení aktuátoru se stará vložka, která je vložena do uzavřeného profilu. Aktuátor je průchozí a umožňuje tak vést kabely uvnitř zásobníku.



Obr. 32 Řez konceptem 3

1-stavěcí nohy, 2-základní kříž, 3-uzavřenný profil, 4-krokový motor s enkodérem, 5-uložení a uchycení aktuátoru, 6-rotační aktuátor, 7-optický snímač, 8-koruna zásobníku, 9-lůžko, 10-kapacitní senzor

6.5 Porovnání těchto variant

Obě tyto varianty jsou hodnoceny podle různých kritérií, která mají různou váhu. Toto hodnocení je shrnuto v tabulce 1

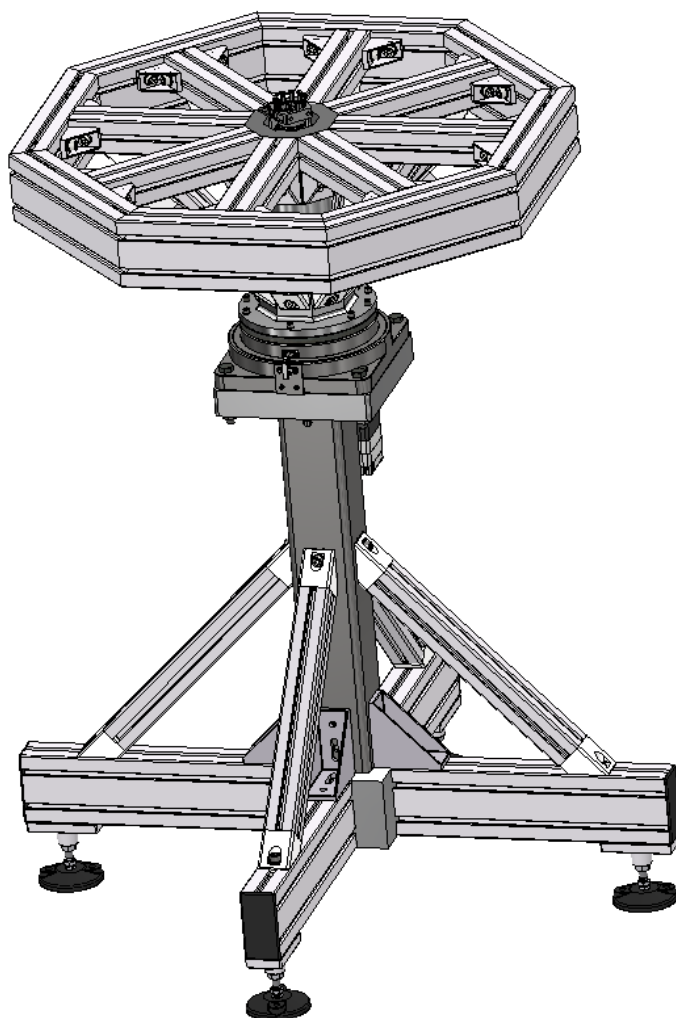
Kritérium	Váha kritéria	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3
Možnost nákupu dílů	10	8	6	10
Složitost konstrukce	9	6	8	9
Možnost zmenšit konstrukci	5	8	5	6
Vedení kabelových svazků	5	2	10	10
Vážený součet		184	207	261

Tabulka 1 Hodnocení variant

Z porovnání vychází nejlépe poslední varianta, která dovoluje vést kabely uvnitř zásobníku. Ozubený převod nepotřebuje žádné napínací zařízení. Celý aktuátor se dá koupit, tudíž větší požadavky na přesnost, které jsou s ozubenými koly spojeny, obstará výrobce

7 POPIS VÝSLEDNÉ KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ

Zde budou rozebrány a popsány některé části konstrukce. Celá konstrukce je vidět na obrázku č.33

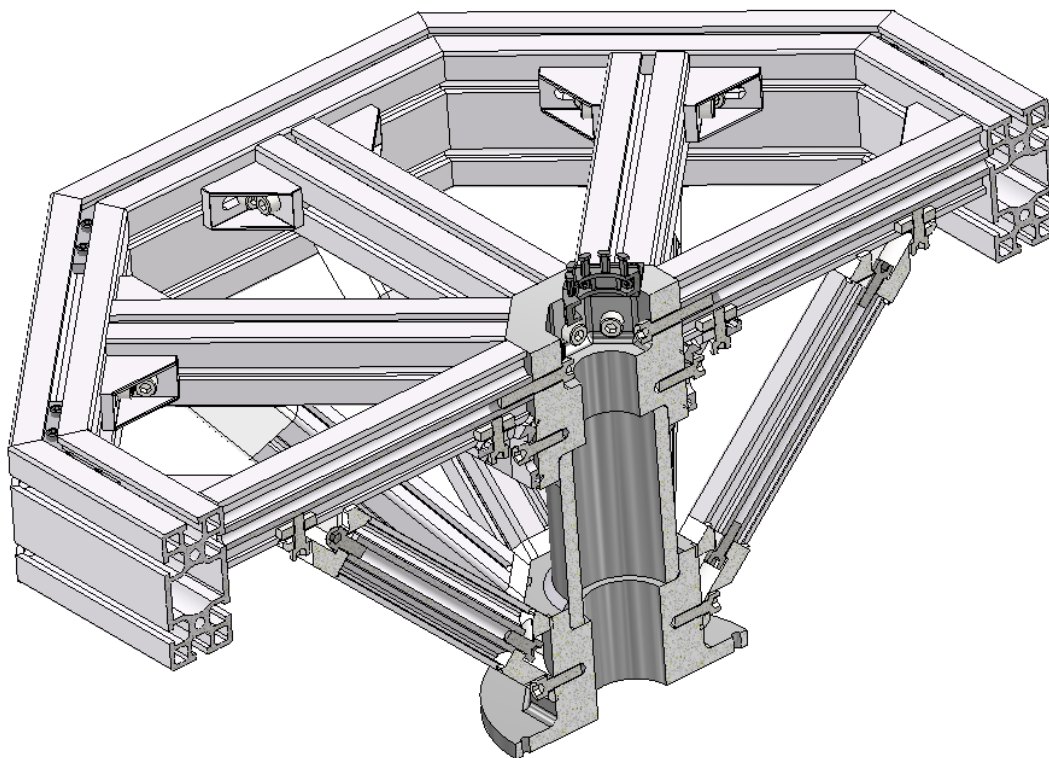


Obr. 33 Výsledná konstrukce

7.1 Otočná hlava zásobníku

Hlava je převážně tvořena stavebnicovým systémem 45/8 z hliníkové slitiny Al Mg Si 0,5 F 25 dle DIN 3.3206.72. Koruna je tvořena profilem s výškou 90 mm s dvěma podélnými drážkami, které budou propůjčovat větší tuhost pro upínání lůžek. Celý obvod je uchycen přes úhelníky k čtvercovým profilům. Tyto profily mají v sobě na druhé straně závit, díky kterému jsou přes šrouby přichyceny k středovému svařenci. Středový svařenec má osm dosedacích ploch, o které se opírají čtvercové profily. Šroubový spoj je proveden s předpětím, aby bylo možno zaručit třecí spoj a šroub nebyl namáhán na stříh nebo ohyb, což by mohlo vést k deformaci na závitu

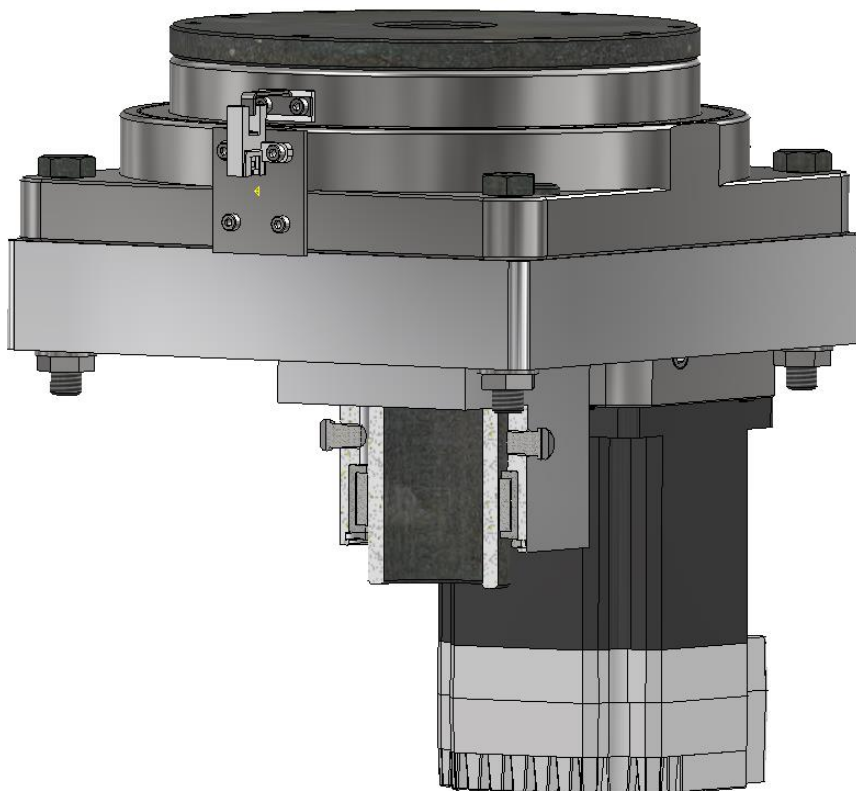
a ztrátě rozebíratelnosti. Celá koruna je podepřena čtvercovými profily kvůli větší tuhosti proti ohybu od nástrojů přes uhlové spojky. Celá tato sestava je přišroubována k rotačnímu aktuátoru HLMT200-005-N34EC. Většina šroubových spojů je provedena přes matice, které se vkládají do drážek hliníkových profilů, aby byla v co největší míře omezena nutnost profily dále upravovat z důvodu úspory času a jednoduchosti výroby. Hlava je vidět na obrázku č.34.



Obr. 34 Řez hlavou zásobníku [41]

7.2 Polohovací ústrojí

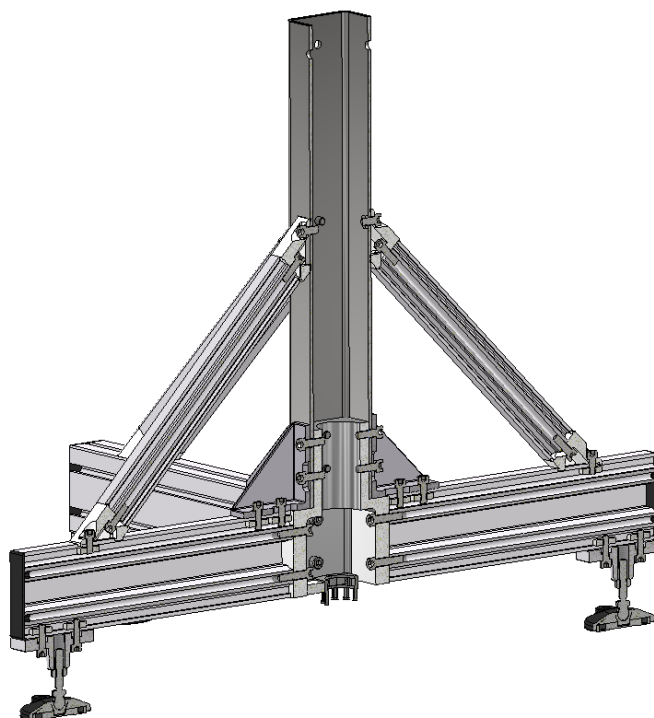
Jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci, o natáčení se stará HLMT200-005-N43EC spolu s krokovým motorem MIS34C14xxH385. Tento rotační aktuátor byl vybrán proto, aby bylo možno vést kabeláž uvnitř. Zároveň obsahuje převod přes ozubená kola, který se dá navolit u výrobce. Správné navolení částečně vyřeší problém s uložením celé sestavy otočné hlavy. Uvnitř aktuátoru je otočové ložisko, které zachytí všechnu axiální sílu, avšak radiální složku dle dovolených hodnot od výrobce nezachytí. Tudíž je vložena dutá hřídel s přírubou mezi sestavu otočné hlavy a aktuátoru. Na tuto hřídel bude nasunuto radiální jehličkové ložisko, které bude zachytávat klopný moment od nástrojů. Aktuátor má přírubu pro upnutí motoru se standardizovaným rozměrem NEMA 34. Aktuátor je přišroubován na vložku, která je vložena do uzavřeného dutého čtvercového profilu 80x80x4 a z boku zajištěna šrouby. V této vložce je taky uloženo jehličkové ložisko. Sestavu polohovacího zařízení lze vidět v částečném řezu na obrázku č.35.



Obr. 35 Polohovací zařízení s částečným řezem [41]

7.3 Základna zásobníku

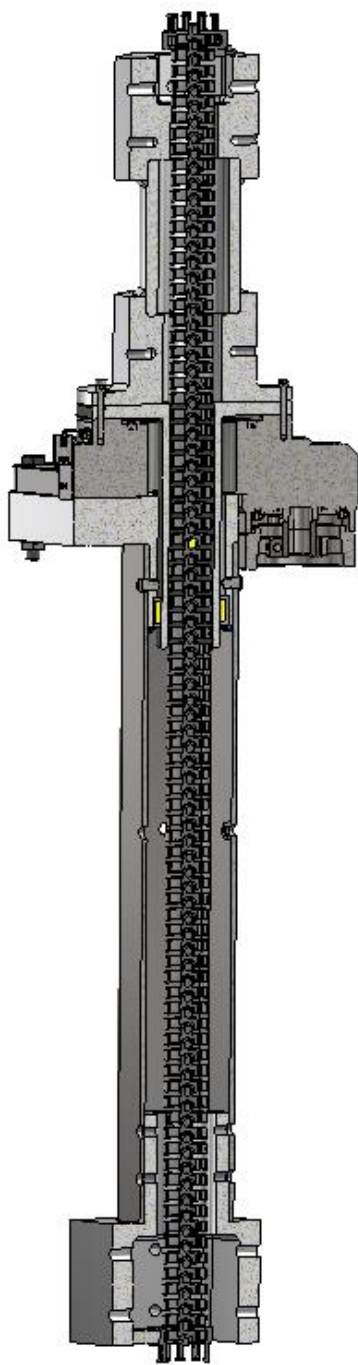
Statické a dynamické zatížení od otočné hlavy a natáčecího ústrojí je přes již zmíněný uzavřený dutý čtvercový profil přenášeno na další hliníkovou vložku. Na tuto vložku jsou přišroubovány čtyři hliníkové profily s výškou 90 mm. Pro přišroubování jsou tentokrát využity obě díry v profilu z důvodu většího zatížení, opět jde o předepjaté šroubové spoje. Tyto hliníkové profily tak společně tvoří základní kříž celé sestavy. Na spodní straně kříže jsou přišroubovány čtyři příruby se závitem, do kterých jsou zašroubovány stavěcí patky z důvodu možnosti ustavení zásobníku do roviny vůči nerovné podlaze. Proti vyvrácení uzavřeného čtvercového profilu z hliníkové vložky jsou na vrchní ploše kříže v drážkách přišroubovány uhlové spojky, do těchto spojek je našroubován hliníkový čtvercový profil, z druhé strany tohoto profilu je opět přišroubovaná uhlová spojka, která je následně přišroubovaná do uzavřeného dutého profilu. Posledním jisticím prvkem jsou čtyři úhelníky, které spojují šroubovým spojením základní kříž s uzavřeným čtvercovým profilem. Základna je vidět na obrázku č.36.



Obr. 36 Řez základny s uzavřeným profilem [41]

7.4 Senzory a kabeláž

Pro přesné určení polohy natočení hlavy zásobníku nestačí jen absolutní enkodér v motoru. Je potřeba určit reálné natočení hlavy, nejen hřídele v motoru. Určení reálného natočení je dosaženo pomocí vidlicové světelné závory pm-t65 spolu s enkodérem motoru. Světelná závora slouží k určení koncových poloh zásobníku, které provede po každém zapnutí stroje. Důvod zvolení světelné závory oproti například kapacitnímu nebo indukčnímu senzoru je v jeho rozlišovací schopnosti. Pokud by se například plech přibližoval ke kapacitnímu senzoru z boku a ne kolmo na čidlo, nedošlo by k jeho sepnutí pokaždé ve stejné poloze. Výhodou tohoto řešení je, že nedojde k ukroucení kabelových svazků uvnitř konstrukce. Světelná závora je přišroubovaná ke stacionární části rotačního aktuátoru, ohnutý plech s dírou pro průchod paprsku je přišroubován na rotující části. Kabely povedou uvnitř konstrukce v energetickém řetězci, který umožňuje natočení jednotlivých segmentů vůči sobě o 15 ° a rozloží jejich zatížení. Energetický řetězec je na obou koncích přišroubován. Pro lepší představu je v řezu vidět energetický řetězec na obrázku č.37.

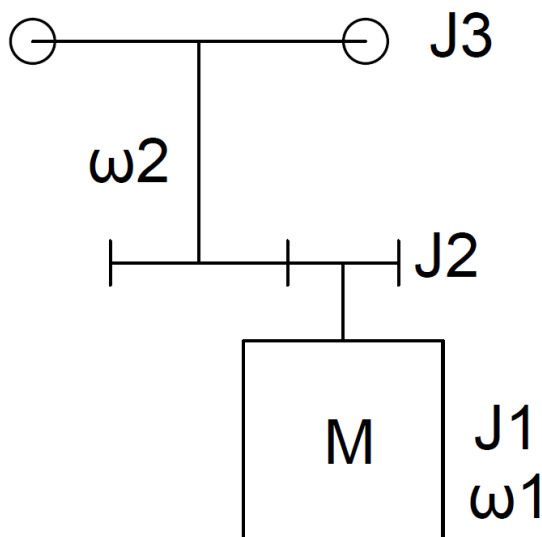


Obr. 37 Řez prostřední částí zásobníku pro ukázkou energo. řetězu (bez základního kříže a koruny) [41]

8 VÝPOČTY

8.1 Výpočet pro zvolení krokového motoru

Pro zvolení správného krokového motoru je potřeba zjistit potřebný krouticí moment na rozpohybování hlavy. Podle schématu na obrázku č.38, které slouží jako zjednodušené znázornění, je nutné spočítat redukovaný moment setrvačnosti na hřídel motoru.



Obr. 38 Schéma rotačního zásobníku pro výpočet momentu setrvačnosti [41]

Výpočet vychází z obecné rovnice (1) zákona zachování kinetické energie.

$$\frac{1}{2}J_{red}\omega^2 = \sum_{l=1}^n \frac{1}{2}m_l v_l^2 + \sum_{k=1}^m \frac{1}{2}J_k \omega_k^2 \quad (1)$$

Po dosazení v tomto případě jen energií od rotačních pohybů je dosažen tento tvar (2)

$$\frac{1}{2}J_{red}\omega_1^2 = \frac{1}{2}J_3 \left(\frac{\omega_1}{i}\right)^2 + \frac{1}{2}J_2 \omega_1^2 + \frac{1}{2}J_1 \omega_1^2 \quad (2)$$

Zjednodušení na konečný tvar a dosazení (3)

$$J_{red} = \frac{J_3}{i^2} + J_2 + J_1 = \frac{30,097}{5^2} + 0,00027 + 0,00292 \doteq 1,2071 \text{ kgm}^2 \quad (3)$$

Hodnota J_1 (4) byla vypočítána částečně použitím hodnot z Inventoru v kombinaci s analytickým přístupem pomocí Steinerovy věty. Pro zjednodušení byli nástroje spolu s držáky brány jako hmotné body (5).

$$J_1 = J_{inventor} + J_{hmot.body} = 1,197221 + 28,9 \doteq 30,097 \text{ kgm}^2 \quad (4)$$

$$J_{hmot.body} = 8mr^2 = 8 \cdot 20 \cdot 0,425^2 = 28,9 \text{ kgm}^2 \quad (5)$$

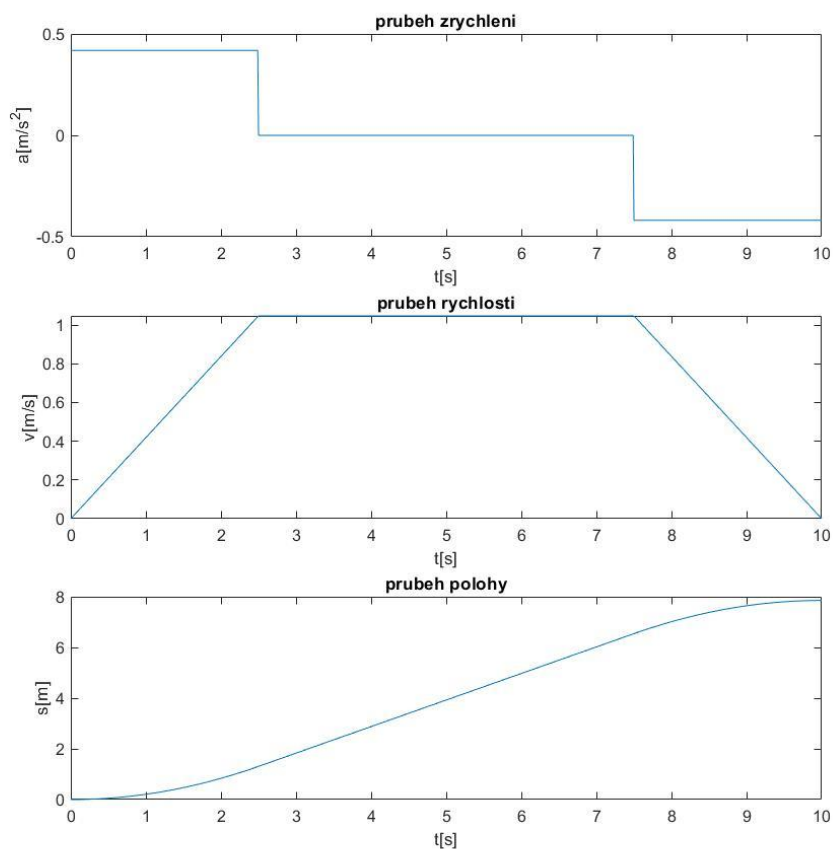
Hodnota J_2 je dána výrobcem motoru (6)

$$J_2 = 0,00027 \text{ kgm}^2 \quad (6)$$

Hodnota J_3 je dána výrobcem aktuátoru (7)

$$J_3 = 0,00292 \text{ kgm}^2 \quad (7)$$

Z požadavků ze zadání je známá maximální úhlová rychlost a časy potřebné pro zpomalení a zrychlení. Z těchto hodnot je vytvořen graf č.1, který znázorňuje průběh zrychlení, rychlosti, polohy. Průběh zrychlení je dost skokový a v praxi nebo při nastavování průběhů zrychlení v řídicím softwaru by bylo vhodné zvolit plynulejší náběh, což by upravilo i průběh rychlosti v závislosti na čase. Kvůli skokům by se mohl utrhnout krok například u krokových motorů. Pro zjednodušený výpočet vedoucí ke zjištění potřebného krouticího momentu jsou tyto průběhy dostačující. Je také jednodušší s nimi analyticky počítat.



Graf. 1 Průběhy polohy, zrychlení, a rychlosti

Zrychlení i zpomalení je tedy konstantní a jde dopočítat dle vzorce v rovnici (8)

$$\alpha_2 = \frac{\omega_2}{t} = \frac{\frac{\pi}{3}}{2,5} = \frac{2}{15} \pi \frac{rad}{s^2} \quad (8)$$

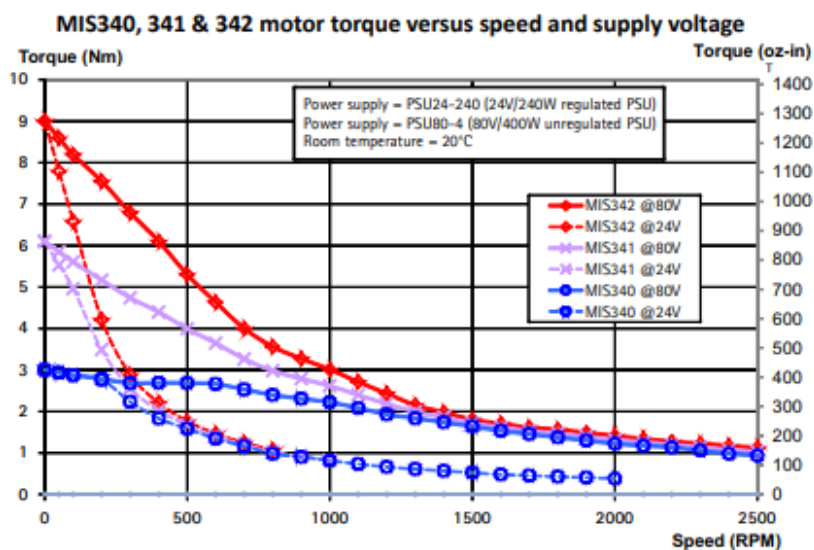
Výsledek bude využit pro výpočet požadovaného momentu podle tohoto vzorce (9)

$$M = \alpha_2 J_{red} i = \frac{2}{15} \pi \cdot 1,207 \cdot 5 \doteq 2,528 Nm \quad (9)$$

Dle momentu je vybrán z katalogu výrobce krokový motor, který má dynamický moment vyšší alespoň o hodnotu 0,2. Tato bezpečnost je použita proto, že metoda redukce nezahrnuje pasivní účinky, které by mohly zamezit rozpohybování. Motor musí být také vybrán v závislosti na otáčkách, ve kterých bude provozován vzhledem k momentové charakteristice motorů. Výpočet otáček podle vzorce (10) a z úpravy (11)

$$\omega = 2\pi n \quad (10)$$

$$n_1 = \frac{\omega_2}{2\pi} i = \frac{\frac{\pi}{3}}{2\pi} 5 = \frac{5}{6} \frac{ot}{s} = \frac{5}{6} \cdot 60 = 50 \frac{ot}{min} \quad (11)$$



Graf.2 Originální momentová charakteristika krok. motorů od výrobce JVL [42]

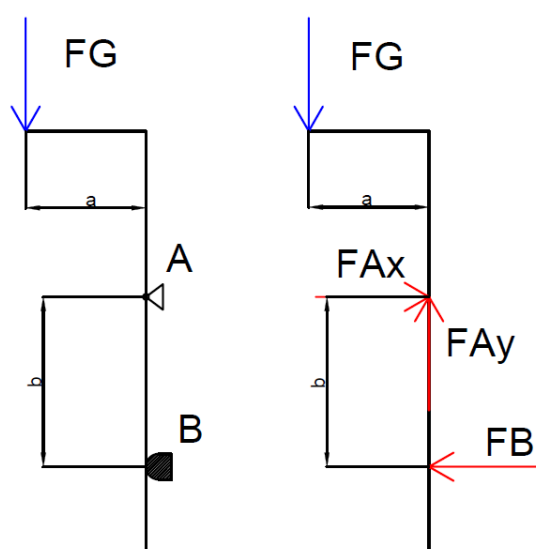
Z grafu (3) lze vidět, že použití motoru MIS340 je na hranici. A s přihlédnutím ke zjednodušujícím výpočtům je vhodnější zvolit MIS341, který bude mít možná příliš velkou rezervu, ale tuto rezervu bude možno využít pro dosažení většího zrychlení, nebo pro použití těžších nástrojů. Pokud by na ústavu byl zásobník používán převážně s nedosaženou kapacitou zásobníku, je vhodnější variantou motor MIS340.

J_{red} [kg.m ²]	redukovaný moment setrvačnosti na hřídel motoru
ω_2 [rad/s]	uhlová rychlost rotačního zásobníku
ω_1 [rad/s]	uhlová rychlost krokového motoru

n_1 [otáčky/s]	otáčky hřídele motoru
i	převodový poměr ozubených kol v aktuátoru
M [Nm]	minimální potřebný moment
α_2 [rad/s ²]	úhlové zrychlení hlavy zásobníku
t [s]	doba požadovaná na zrychlení
J_1 [kg.m ²]	moment setrvačnosti koruny s nástroji
J_2 [kg.m ²]	moment setrvačnosti motoru
J_3 [kg.m ²]	moment setrvačnosti aktuátoru

8.2 Kontrola ložiska

Síly, které vzniknou od klopného momentu, bude zachytávat radiální ložisko nasazené na hřídeli. A je žádoucí provést jak statickou kontrolu, tak kontrolu životnosti ložiska.



Obr. 39 Schéma pro statický rozbor [43]

Schéma na obrázku č.39 slouží pro zjednodušení a pro názornost. Je provedena silová a momentová rovnováha. Ve schématu je pozice, kde se bude ložisko opírat o stěnu hřídele, naznačena jako obecná podpora B a pozice ložiska v aktuátoru označena jako rotační vazba A, i když tato vazba nebude úplně korespondovat s realitou pro statický rozbor je postačující.

MA (12)

$$\sum MA = 0: FG \cdot a - FB \cdot b = 0 \quad (12)$$

Fx (13)

$$\sum F_x = 0: F_{Ax} + FB = 0 \quad (13)$$

Fy (14)

$$\sum F_y = 0: -FG + FA_y = 0 \quad (14)$$

Síla FG je spočítaná od tíhy nástrojů pomocí vzorce (15)

$$FG = m \cdot g = 90 \cdot 9,81 = 882,9 \text{ N} \quad (15)$$


Hmotnost je uvažována 90 kg od tří nástrojů položených na jedné straně zásobníku. Toto by však v praxi nemělo nastat, protože by obsluha měla nástroje do zásobníku umísťovat naproti sobě, aby byl tento klopný moment zcela eliminován.

Z momentové rovnováhy je vyjádřena FB, která je výsledná síla na ložisko (16).

$$FB = \frac{FG \cdot a}{b} = \frac{882,9 \cdot 0,425}{0,11} \doteq 3411 \text{ N} \quad (16)$$

Výslednou sílu působící na ložisko lze použít pro výpočet předpokládané životnosti. Tuto kontrolu lze provést přímo na stránkách výrobce ložisek SKF. V přiloženém obrázku č.40 lze vidět výsledný výpočet. Nevýhodou může být nemožnost dohledání přesného výpočtu, který tento program využívá, ale jelikož se jedná o orientační výpočet a opravdová životnost by musela být validována zkouškou, lze tento výpočet považovat za dostatečný. Jedná se totiž o zavedeného a kvalitního výrobce ložisek. Z výsledku vyplývá, že životnost ložiska je opravdu dostatečná, i s velkou rezervou.

a [m]	vzdálenost mezi hmotným bodem a osou duté hřídele
b [m]	vzdálenost mezi otočovým ložiskem a radiálním ložiskem
FG [N]	tíhová síla od 3 zaplněných lůžek
FA _x [N]	reakční síla působící na otočové ložisko v ose x
FA _y [N]	reakční síla působící na otočové ložisko v ose y
FB [N]	reakční síla působící na radiální ložisko
MA [Nm]	moment k bodu A



Forces
 Radial
 kN

Speed
 r/min

Temperature ⓘ
 Inner ring Outer ring
 °C °C

3.7

50

70

65

+

Add load case

▶

Calculate



BEARING LOADS

Designation	Equivalent dynamic load	Load ratio
	P kN	
NKS 50	3.7	11.59



ADJUSTED REFERENCE SPEED

Designation	Adjusted reference speed	Adjustment factors	
	n_{ar} r/min	For bearing load P f_p	Oil viscosity f_v
NKS 50	8800	0.99	1.11



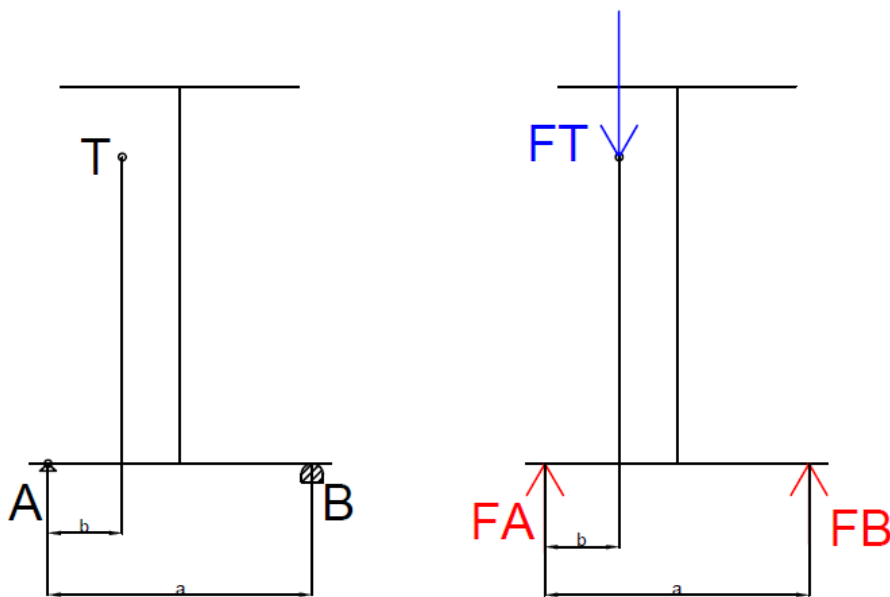
BEARING RATING LIFE

Designation	Life model		SKF life modification factor	Contamination factor
	Basic L_{10h} h	SKF L_{10mh}	a_{skf}	η_c
NKS 50	$> 2 \times 10^5$	118000	0.1	0.06

Obr. 40 Výpočtové prostředí SKF [44]

8.3 Kontrola zásobníku pro převrácení

Pokud bude zásobník založen nástroji jen na jedné straně, mohlo by dojít k převrácení celé konstrukce. Kontrolní výpočet bude podle zjednodušeného schématu, viz obrázek č.41. Jedna z nohou bude nahrazena rotační vazbou a druhá obecnou podporou. Půjde o zhodnocení, zda je obecná podpora funkční, nebo ne. Pokud bude síla opačná nebo nulová, vazba funkční není a lze předpokládat, že dojde k oddělení jedné nohy od podlahy. Do tohoto výpočtu nejsou zahrnuty síly od dostředivého zrychlení ani od tečného zrychlení, a to z důvodu jejich zanedbatelné hodnoty oproti silám od tíhové zrychlení.



Obr. 41 Schéma pro výpočet převrácení [43]

V programu Inventor bylo dopočítáno těžiště v případě, že jsou tři nástroje založeny na jedné straně a z těžiště byla počítána tíhová síla (17).

$$FT = m \cdot g = 126,5 \cdot 9,81 = 1241 \text{ N} \quad (17)$$

Momentová rovnováha k bodu A (18) a zní vyjádřená síla v podpoře B (19)

$$\sum MA = 0: FT \cdot b - FB \cdot a = 0 \quad (18)$$

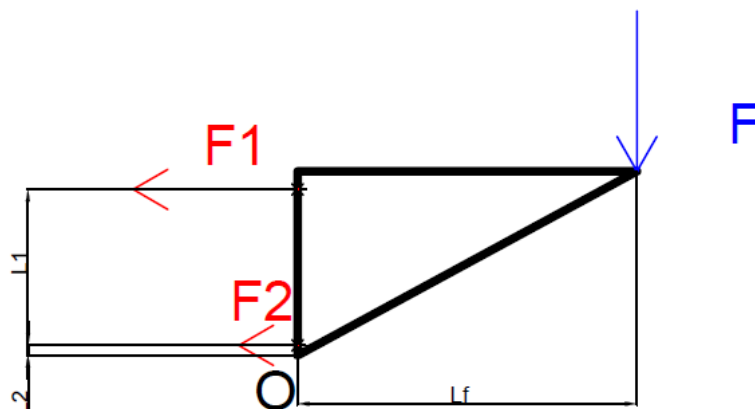
$$FB = \frac{FT \cdot b}{a} = \frac{1241 \cdot 0,2034}{0,735} \doteq 343,4 \text{ N} \quad (19)$$

Z tohoto výsledku vyplývá, že nedojde k převrácení. Pokud by byl použit motor s větším momentem, nebo menší zátěž v zásobníku, což by umožňovalo rychlejší otáčení a zrychlení, musely by být síly vzniklé tímto vlivem brány v potaz. Pokud budou nohy přichyceny k podlaze dvěma šrouby, zachytí větší síly. Tento postup zakládání je však chybný. Nástroje by měli být zakládány naproti sobě, aby bylo eliminováno posunutí těžiště.

FT [N]	tíhová síla působící v těžišti
FB [N]	reakční síla působící na základní kříž v bodě nohy B
FA [N]	reakční síla působící na základní kříž v bodě nohy A
a [m]	rozchod nohou
b [m]	vzdálenost těžiště od nohy

8.4 Kontrola šroubového spoje

Jak již bylo zmíněno v kapitole o konstrukci, většina spojení součástí je zde prováděna pomocí šroubových spojů. Proto je důležité zkontrolovat pravděpodobně nejvíc nebezpečná místa ze všech spojů. První pravděpodobně nebezpečný spoj se nachází na koruně zásobníku. Z analytického zjednodušeného řešení podle obrázku č.42 byla dopočítána síla, která působí na šrouby. Tato síla je následně použita ve výpočtu v programu Inventor.



Obr. 42 Schéma ramene na koruně zásobníku [43]

Síla působící na rameni \$L_f\$ je vypočítána v rovnici (20), hmotnost je uvažována od jednoho nástroje.

$$F = m \cdot g = 30 \cdot 9,81 = 294,3 \text{ N} \quad (20)$$

Moment z této síly je spočítán podle rovnice (21)

$$M = F \cdot L_f = 0,425 \cdot 294,3 = 125 \text{ Nm} \quad (21)$$

Za těžiště skupiny šroubů je považována spodní hrana úhelníku. Toto těžiště je označeno O [45].

Pro moment, který působí na rameno zásobníku, platí rovnice (22)

$$M = F_1 L_1 + F_2 L_2 \quad (22)$$

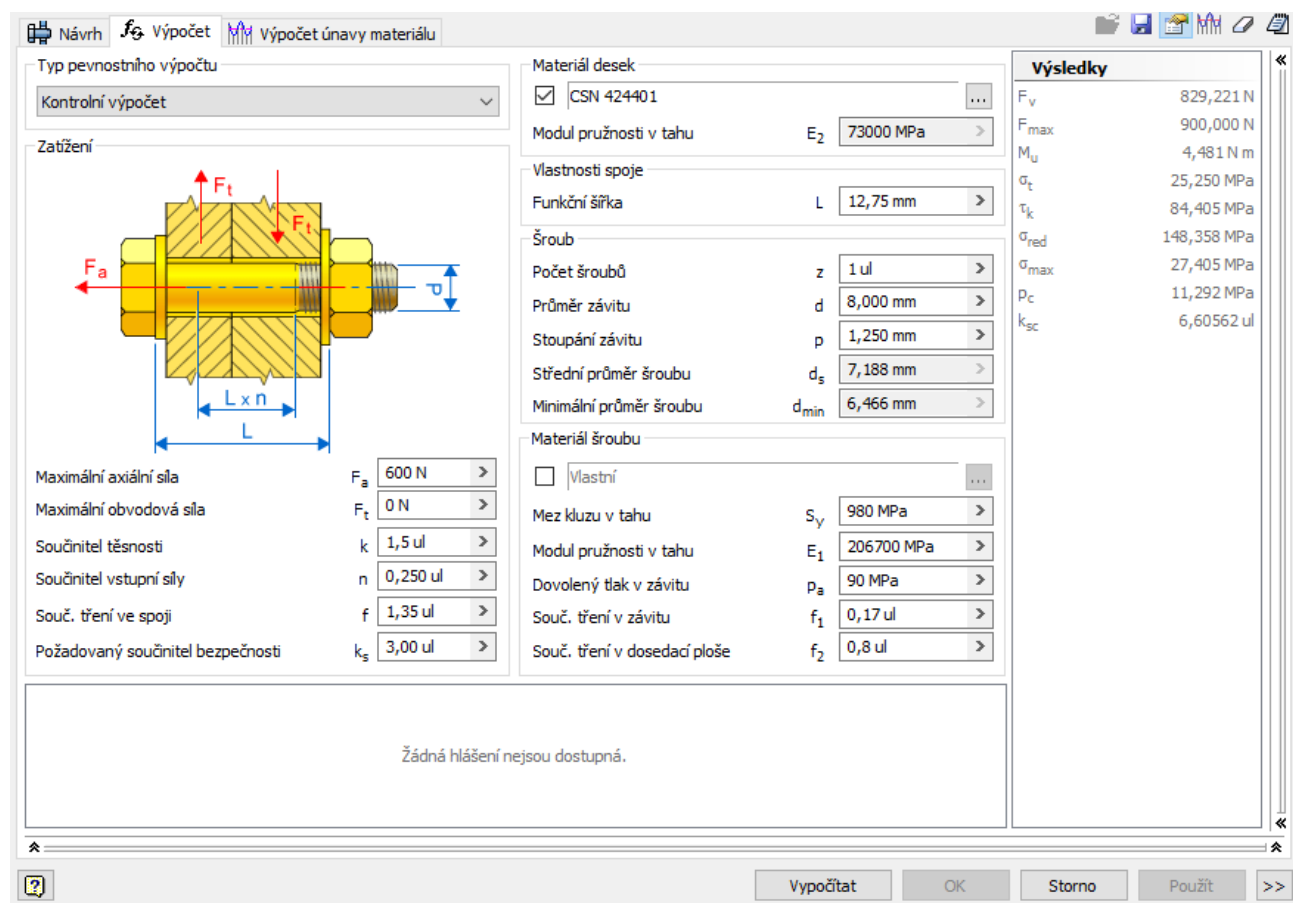
Pro síly umístěné nad bodem O platí tato rovnice (23)

$$F_2 = F_1 \frac{L_2}{L_1} \quad (23)$$

Po dosazení těchto dvou rovnic (22), (23) do sebe a po úpravách a vyjádření síly \$F_1\$ z rovnice (24). Což je v tomto případě maximální síla působící na šroub.

$$F_1 = \frac{M \cdot L_1}{L_1^2 + L_2^2} = \frac{125 \cdot 0,207}{0,207^2 + 0,012^2} = 600 \text{ N} \quad (24)$$

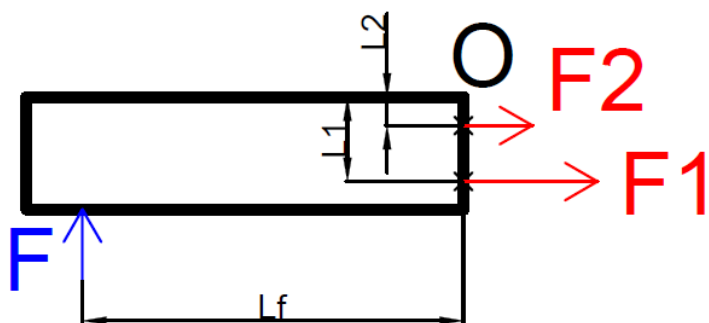
Výpočet v programu Inventor Professional 2020 pomocí funkce šroubové spoje je vidět na obrázku č.43



Obr. 43 Výpočet šroubu u ramene v koruně [41]

Hodnoty koeficientů jsou vybrány z publikace kolektivu autorů *Konstruování strojních součástí*. Některé proměnné jsou v programu v důsledku překladu pojmenovány jinak.

Nejvíce nebezpečné místo je na základním kříži, který nese celou váhu zásobníku i s nástroji. Opět bude proved analytický výpočet ze zjednodušeného schématu, viz obrázek č.44. Výsledná síla bude opět použita pro výpočet v Inventoru.



Obr. 44 Schéma jednoho profilu základního kříže [43]

Síla působící na rameni L_f je vypočítána v rovnici (25), hmotnost je uvažována při maximálním zaplnění zásobníku a spolu se samotnou váhou zásobníku, ale jelikož je výpočet pro jednu část kříže ze čtyř, byla hmotnost podělena tímto počtem částí.

$$F = m \cdot g = 76,7 \cdot 9,81 = 752,427 \text{ N} \quad (25)$$

Pro moment, který působí na profil, platí rovnice (26)

$$M = F \cdot L_f = 0,305 \cdot 752,427 = 229,49 \text{ Nm} \quad (26)$$

Za těžiště skupiny šroubů je považována spodní hrana úhelníku. Toto těžiště je označeno O.

Pro moment platí rovnice (27)

$$M = F_1 L_1 + F_2 L_2 \quad (27)$$

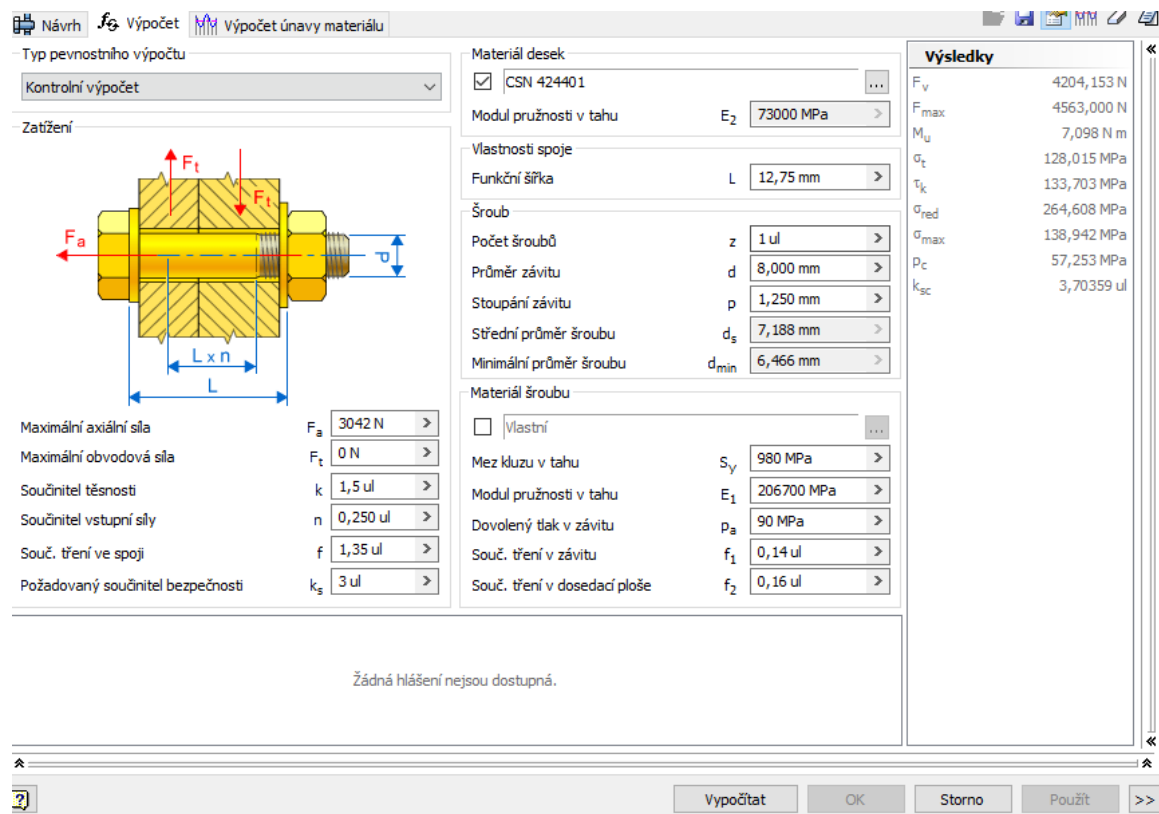
Pro síly umístěné nad bodem O platí tato rovnice (28)

$$F_2 = F_1 \frac{L_2}{L_1} \quad (28)$$

Po dosazení těchto dvou rovnic (28), (27) do sebe a po úpravách a vyjádření síly F_1 z rovnice (29). Což je v tomto případě maximální síla působící na šroub.

$$F_1 = \frac{M \cdot L_1}{L_1^2 + L_2^2} = \frac{229,48 \cdot 0,0676}{0,0676^2 + 0,023^2} = 3042 \text{ N} \quad (29)$$

Výpočet v programu Inventor Professional 2020 je zobrazen na obrázku č.45



Obr. 45 Výpočet šroubu v profilu na základním kříži [41]

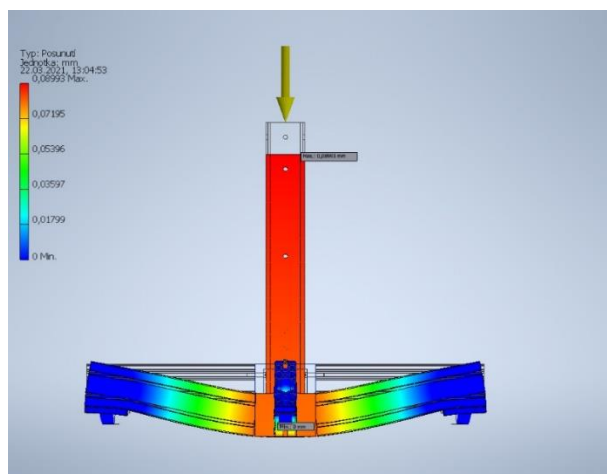
Po zkontrolování těchto šroubových spojů lze přepokládat, že všechny ostatní zvládnou zatížení.

Označení použitých veličin a jednotek je stejné jako u přechozího výpočtu.

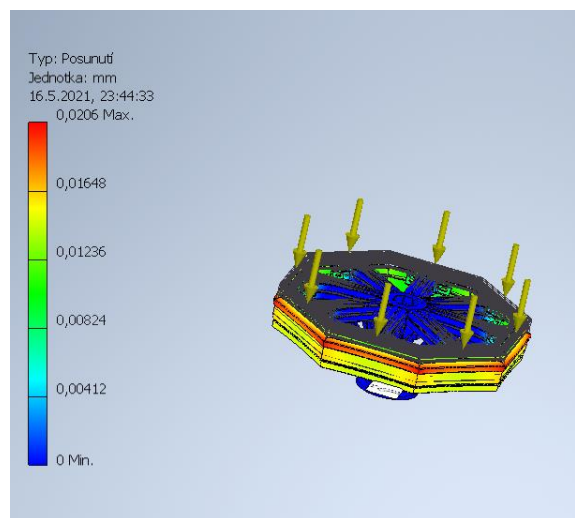
F_v [N]	předepínací síla
F_{max} [N]	pracovní síla
M_u [Nm]	požadovaný utahovací moment
σ_t [MPa]	tahové napětí
T_k [MPa]	napětí v krutu
σ_{red} [MPa]	redukované napětí
p_c [MPa]	tlak v závitech
F_1 [N]	axiální síla působící v ose šroubu č.1
F_2 [N]	axiální síla působící v ose šroubu č.2
F [N]	tíhová síla od nástrojů
L_f [m]	vzdálenost mezi opěrnou stěnnou a zátěžnou silou F
L_1 [m]	vzdálenost mezi těžištěm O a šroubem č.1
L_2 [m]	vzdálenost mezi těžištěm O a šroubem č.2

8.5 Pevnostní analýza a simulace

Nakonec byla provedena pevnostní simulace, která brala v úvahu předchozí výpočty šroubových spojů, na základě které byla tato spojení nahrazena jako by plochy byly vázané a nemohlo dojít k posunutí. Tato simulace byla provedena metodou mcp v programu Inventor. Jejím záměrem bylo ověřit, kde se bude nacházet nejvíc nebezpečné místo a kde dojde k největší deformaci, popřípadě zda nedojde k vybočení uzavřeného profilu pod tíhou nástrojů atd. Maximální posunutí lze vidět na obrázcích č.47 a č.46.



Obr. 46 Maximální posunutí základny zásobníku [41]



Obr. 47 Maximální posunutí koruny [41]

Maximální výchylka při plném zatížení je 0,02 mm, což je s ohledem na přesnost samotného robota a polohovacího ústrojí konstrukce přijatelná hodnota a nebude omezujícím faktorem.

Tuto odchylku vykompenzují vystředovací a vymezovací části přírub.

Z výsledků vyplynulo, že je zásobník silně předimenzován, ale v závislosti na jednoduchosti, technologičnosti a smontovatelnosti se jedná o přijatelné nevýhody, projevující se v kategorii váhy. Sestavu by bylo možné odlehčit, ale požadavek na váhu nebyl zadán. Jelikož se nejedná o mobilní zařízení, které by se mělo často přemisťovat, není nutno váhu považovat za prioritu.

9 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo sestavit konstrukční návrh rotačního zásobníku pro automatickou výměnu nástrojů u robota. Za tímto účelem byl v úvodu práce proveden průzkum aktuálních konstrukcí v oblasti automatické výměny nástrojů pro roboty. Z výsledků průzkumu vyplývá, že žádný velký výrobce nenabízí konfigurovatelný rotační zásobník a v nabídce jsou pouze stacionární zásobníky. Zásobník si tedy firma musí zkonstruovat sama, nebo zadat externí firmě požadavek řešení na míru. Po prvotním průzkumu byla provedena rešerše jednotlivých předpokládaných komponent, které by měly být použity ve vlastní konstrukci. Jmenovitě v oblasti pohonu natáčení zásobníků, v oblasti senzorů pro určování natočení a zaplnění polohy a také v oblasti samotných vyměnitelných nástrojů a jejich způsobu upínání. Z této rešerše v kombinaci se zadanými parametry byly předběžně zvoleny následující komponenty pro konstrukci: krokový motor pro natočení, optoelektronický senzor v kombinaci s enkodérem k určování natočení a kapacitní nebo indukční senzory pro určování zaplnění nástrojů.

Z vypracovaných a porovnaných konceptů bylo následně vyhodnoceno, jaká konstrukce se jeví jako nejvhodnější. Tato konstrukce měla zároveň splňovat kritérium co nejvyšší rychlosti realizace a co nejnižší ceny, a musela být tedy složena v co nejvyšší míře z nakupovaných a normalizovaných dílů.

Konstrukce byla vymodelována v programu Inventor Profesional 2020. Zde byla také provedena jednoduchá analýza pevnosti pomocí MKP, při které bylo zjištěno, že konstrukce je značně předimenzovaná. Dále byl proveden výpočet těžiště, kdy nástroje byly uvažovány za hmotné body a byly zakládány chybně na jednu stranu zásobníku. Z programu byl zjištěn moment setrvačnosti koruny.

Z těchto hodnot byl metodou redukce dopočítán redukovaný moment setrvačnosti na ose motoru a vypočítán potřebný moment a zvolen motor. Následně byly zkontrolovány některé šroubové spoje, zásobník proti převrácení a životnost ložiska, které muselo být do konstrukce přidáno z důvodu klopeného momentu.

Výsledná konstrukce splňuje všechny zadané parametry a požadavky. Tuto konstrukci lze poměrně lehce upravit v závislosti na počtu pozic, rozměrech základního kříže a koruny, a tím upravit stabilitu nebo nutnost ložiska uvnitř konstrukce. Tvary lůžek mohou být různě velké a s různými tvary, musí pouze splňovat rozteče drážek v hliníkovém profilu. Výroba by z velké části mohla probíhat na ústavu. Smontovatelnost konstrukce není většinou závislá na vysoce přesných dílech a šrouby nejsou lícovány. Některé prvky jsou příliš robustní, což otvírá možnosti úprav v další verzi tohoto zásobníku, samozřejmě s přihlédnutím ke komplexnosti, která by mohla být kontraproduktivní. Veškeré výpočty byly zjednodušeny za účelem získání obecné představy výsledných hodnot. Většina výpočtů byla také řešena pro extrémní případy, které by v praxi vzhledem k odborné přípravě obsluhy neměly nastat. Jelikož se ale jedná o prototyp a teoretickou první verzi, kterou je nutno ověřit, je vhodné počítat s hraničními

hodnotami a zajistit tak maximální bezpečnost návrhu. Pro budoucí práci lze uvažovat o navržení tvaru odkládacích lůžek. Tento aspekt nebyl součástí předkládané práce.

10 CITOVANÁ LITERATURA

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] Ati industrial automation. *Ati industrial automation* [online]. 2020 [cit. 2020-11-24]. Dostupné z: <https://www.atia.com/products/toolchanger/toolstand/small/smallstand.aspx>
- [3] Tool Stand for QC20/21/21E with forward adapter. In: *ATI Industrial Automation* [online]. Apex: ATI Industrial Automation, 2021 [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.atia.com/products/toolchanger/toolstand/small/images/9230-20-1679_Tool_Stand_for_QC20-21-21E_with_forward_adapter.png
- [4] S-T Robotics TC12 mini tool changer for R12 robot. In: *Youtube* [online]. [cit. 2021-05-11].
- [5] ČSN EN ISO 9409-1. *Manipulační průmyslové roboty - Mechanická rozhraní - Část 1: Lící desky* [online]. Praha: Český normalizační institut, 2004. Dostupné také z: http://www.technicke-normy-csn.cz/inc/nahled_normy.php?norma=186509-csn-en-iso-9409-1&kat=71193
- [6] *Grippers for Collaborative Robots* [online]. Robotiq, - [cit. 2020-11-24]. ISBN -. Dostupné z: <https://robotiq.com/resource-center/ebooks>
- [7] SWS. In: *Schunk: Superior Clamping and Gripping* [online]. Brno: SCHUNK GmbH & Co. KG, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://schunk.com/fileadmin/_processed_/csm_IM0004641_9674267b84.jpg
- [8] Příváděcí moduly. *Schunk: Superior Clamping and Gripping* [online]. Brno: SCHUNK GmbH & Co. KG [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/category/uchopovaci-systemy/prislusenstvi-robotu/vymena/privadeci-moduly/
- [9] SWO-E. In: *Schunk: Superior Clamping and Gripping* [online]. Brno: SCHUNK GmbH & Co. KG, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://schunk.com/fileadmin/_processed_/csm_IM0027771_b6fa9160b2.jpg
- [10] Robotic Collision Sensor. In: *ATI Industrial Automation* [online]. Apex: ATI Industrial Automation, Inc., 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://www.atia.com/products/collision_sensor/images/ATI_Robotic_Collision_Sensor.png
- [11] Průřezový diagram SWS. In: *Schunk: Superior Clamping and Gripping* [online]. Brno: SCHUNK GmbH & Co. KG, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://schunk.com/fileadmin/_processed_/csm_IM0004642_bb473a05c5.jpg

- [12] FlexGun. In: *ABB* [online]. Zurich: ABB, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://webimages.imagebank.abb.com/public/default/product/9AAC167257/presentation>
- [13] IRB 52. In: *ABB* [online]. Zurich: ABB, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://webimages.imagebank.abb.com/public/default/product/9AAC133108/presentation>
- [14] Roboticky místo ručně: automatické odjehlování pomocí osvědčených břitů. *Schunk: Superior Clamping and Gripping* [online]. Brno: SCHUNK GmbH & Co. KG, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/novinky/highlights/tiskove-zpravy/article/93200-per-roboter-statt-manuell-automatisiert-entgraten-mit-bewaehrten-klingen/
- [15] ATI COMPLIANT DEBURRING BLADE. In: *UNIVERSAL ROBOTS* [online]. Odense S: Universal Robots A/S, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/media/1808082/product-image.jpg?width=600&height=650&mode=crop>
- [16] VGC10. In: *OnRobot: Superior Clamping and Gripping* [online]. Odense: OnRobot A/S, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://onrobot.com/sites/default/files/styles/500x500/public/2020-03/VG_mini_b_3_2.png?h=2a479378&itok=9uwAHA1O
- [17] EGM. In: *Schunk: Superior Clamping and Gripping* [online]. Brno: SCHUNK GmbH & Co. KG, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://schunk.com/fileadmin/_processed_/csm_IM0016553_5e8b291891.jpg
- [18] Servomotor řady TGN. In: *TG Drives* [online]. Brno: TG Drives, s.r.o., 2020 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://www.tgdrives.cz/uploads/RTEmagicC_obr_servomotor_tgn.JPG.jpg
- [19] VACEK, Patrik. MALÉ STEJNOSMĚRNÉ MOTORY MAXON. In: *Docplayer.cz* [online]. Praha: UZIMEX , spol. s r.o. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/3795951-Male-stejnosmerne-motory-maxon.html>
- [20] KOPECKÝ, Václav. Stejnoseměrné motory se samonosným vinutím. In: *Slideplayer.cz* [online]. Praha: UZIMEX , spol. s r.o. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2450433/>
- [21] SVOBODA, JAN. *Bezsenzorové řízení rychlosti a polohy stejnosměrného kartáčového motoru malého výkonu*. Brno, 2012. Bakalářská. VUT. Vedoucí práce Ing. VÁCLAV PRAJZNER.
- [22] VOJÁČEK, Antonín. El. motory a jejich řízení - základní přehled - 2.díl. *Automatizace.HW.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. automatizace.hw.cz [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/el-pohony-komponenty/el-motory-a-jejich-řízení-2díl-principy-řízení.html>

- [23] VOJÁČEK, Antonín. El. motory a jejich řízení - základní přehled - 1.díl. *Automatizace.HW.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. automatizace.HW.cz [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/el-pohony-mereni-a-regulace/el-motory-a-jejich-řízení-zakladni-prehled.html>
- [24] SINGULE, Vladislav. MOTORY S ELEKTRONICKOU KOMUTACÍ. In: *Uzímex* [online]. Praha: ccb.cz, 2007 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: https://www.uzimex.cz/soubory/20080910_tat_2008-09.pdf
- [25] Řez krokovým motorem. In: *EUfactory a.s.* [online]. EUfactory a.s., 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://shop.eufactory.com/img/cms/motor.jpg>
- [26] VOJÁČEK, Antonín. Rotační enkodéry pro řízení pohonů a pohybu. *Automatizace.hw.cz* [online]. [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/rotacni-ekodery-pro-řízení-pohonu-a-pohybu.html>
- [27] Provedení inkrementálního enkodéru s detekcí směru pohybu a definovaným počátkem. In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. automatizace.hw.cz, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/files/styles/clanek-600/public/story_automat/12015/princip2.gif?itok=Kibhp3DO
- [28] Princip detekce směru otáčení kotouče enkodérů prostřednictvím použití dvou kanálů A a B. In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. automatizace.hw.cz, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/files/styles/clanek-600/public/story_automat/12015/urceni_pohybu.gif?itok=fcAA05UW
- [29] Princip absolutního optického rotačního enkodéru (1= hřídel enkodéru, 2 = zdroj světla, 3 = 8 optických přijímačů). In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. automatizace.hw.cz, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/files/styles/clanek-300/public/story_automat/12015/sensors_encoder4.gif?itok=XOxFDFWy
- [30] BÁRTA, Tomáš. *NASTAVOVÁNÍ RESOLVERU, ODHALOVÁNÍ CHYB NA JEDNU OTÁČKU A JEJICH PRAKTICKÉ MĚŘENÍ* [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=126540. VUT. Vedoucí práce Čestmír Ondrůšek.
- [31] Nevazební snímač-indukční. In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. automatizace.hw.cz, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: http://automatizace.hw.cz/files/styles/full/public/story_automat/10777/nevazebni.gif
- [32] Vazební snímač-indukční. In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. automatizace.hw.cz, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: http://automatizace.hw.cz/files/styles/clanek-300/public/story_automat/10777/vazebni.gif

- [33] Elektromechanická blokovácí zařízení i110R. In: *Sick: Sensor Intelligence* [online]. SICK AG [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://cdn.sick.com/media/895/8/88/188/IM0051188.png>
- [34] Mikrospínače S-3-E. In: *Festo* [online]. Festo, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/TRB/03222DAA627941D38349529124C86095.jpg
- [35] Princip kapacitního snímače. In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. automatizace.hw.cz, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: http://automatizace.hw.cz/files/styles/full/public/story_automat/10796/princip.gif
- [36] Provedení kapacitních snímačů. In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. automatizace.hw.cz, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/files/story_automat/10796/cs.jpg
- [37] [Hallův jev]. In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. automatizace.hw.cz, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: http://automatizace.hw.cz/system/files/images/admin/hall_smallbez_pole.gif
- [38] [Hallův jev]. In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. automatizace.hw.cz, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: http://automatizace.hw.cz/system/files/images/admin/hall_smalls_polem.gif
- [39] Senzor s vychýleným Hallovým snímačem. In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. automatizace.hw.cz, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/files/styles/clanek-300/public/story_automat/12361/hall-effect-rpm-measurement.png?itok=8ye2d31T
- [40] Virtuální zprovoznění. In: *Youtube* [online]. 24.2.2020. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=xA5dGUCRjMU>
- [41] AUTODESK, INC. *Inventor Professional* [software]. Version 2020. California: Autodesk, 1999, [přístup 1. září 2019]. Dostupné také z: <https://www.autodesk.cz/products/inventor/overview?term=1-YEAR>
- [42] *QuickStep, integrated stepper motor MIS34 up to 9 Nm* [online]. Birkerød: JVL Industri Elektronik A/S, 2014. Dostupné také z: <https://www.jvl.dk/files/pdf-1/datasheets/ld0096gb.pdf>
- [43] AUTODESK, INC. *Autocad* [software]. Version 2020. California: Autodesk, 1982, [přístup 1. září 2019]. Dostupné také z: <https://www.autodesk.cz/products/inventor/overview?term=1-YEAR>
- [44] *SKF Bearing Select* [online]. Version 1.2.96. SKF, . Dostupné také z: <https://www.skfbearingselect.com/#/bearing-selection-start>

- [45] SHIGLEY, Joseph a Charles MISCHKE, Miloš VLK, ed., Martin HARTL.
Konstruování strojních součástí. V Brně: Vutium, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.

11 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 Seznam symbolů

ω [rad/s]	úhlová rychlost
m_l [kg]	hmotnost těles konajících translační pohyb
v_l [m/s]	rychlost těles konajících translační pohyb
J_k [kg.m ²]	moment setrvačnosti těles konajících rotační pohyb
ω_k [rad/s]	úhlová rychlost těles konajících rotační pohyb
M [Nm]	moment
F_x [N]	síla ve směru x
F_y [N]	síla ve směru y
m [kg]	hmotnost
g [m/s ²]	tíhové zrychlení

11.2 Seznam zkratk

SWS (Schnellwechselsystem)	system rychlé výměny
PWM (Pulse-Width-Modulation)	pulsně šířková modulace

11.3 Seznam tabulek

Tabulka 1 Hodnocení variant	33
-----------------------------------	----

11.4 Seznam obrázků

Obr. 1 Modulární stacionární zásobník od firmy ATI [3].....	14
Obr. 2 Nemodulární zásobník [40].....	14
Obr. 3 Schunk příruba na straně robota a na straně nástroje, systém SWS [6].....	15
Obr. 4 Modul pro přenos elektrických signálů [8]	15
Obr. 5 Ochranný modul proti kolizi od firmy Ati [9]	16
Obr. 6 Řez upínacím mechanismem od firmy Schunk [10].....	16
Obr. 7 Robot s koncovým efektozem pro bodové svařování [11].....	17
Obr. 8 Koncový efektor pro nanášení barev [12].....	17
Obr. 9 Odjehlovací vřeteno [14]	18
Obr. 10 Podtlakový uchopovač [15]	18
Obr. 11 Aktivní magnetický uchopovač [41].....	18
Obr. 12 Synchronní motor s permanentními motory na rotoru [16]	19
Obr. 13 Řez motoru s kotvou ze železa [17].....	20
Obr. 14 Řez motoru se samonosným vinutím [18]	20
Obr. 15 Řez motoru s homogenním vinutím [22].....	21

Obr. 16 Řez motoru s elektronickou komutací s vinutím na pólech [22]	22
Obr. 17 Řez hybridním krokovým motorem [23]	22
Obr. 18 Návrh disku enkodéru s 3 řadami děr [25]	24
Obr. 19 Ukázka obdélníkového signálu z enkodéru [42]	24
Obr. 20 Schéma absolutního enkodéru s 8 bity [26]	24
Obr. 21 Nevazební provedení [28]	25
Obr. 22 Vazební provedení [43]	25
Obr. 23 Koncový spínač s rolnou [29]	26
Obr. 24 Mikrospínač [44]	26
Obr. 25 Ukázka snímání [30]	27
Obr. 26 Příklady provedení kapacitních senzorů [45]	27
Obr. 27 Princip Hallova jevu [31] [32]	27
Obr. 28 Ukázka principu s vychýleným Hallovým snímačem [33]	28
Obr. 29 Aktuální rozložení výrobní buňky [34]	29
Obr. 30 Řez konceptem 1 [35]	31
Obr. 31 Řez konceptem 2 [35]	32
Obr. 32 Řez konceptem 3	33
Obr. 33 Výsledná konstrukce	34
Obr. 34 Řez hlavou zásobníku [35]	35
Obr. 35 Polohovací zařízení s částečným řezem [35]	36
Obr. 36 Řez základny s uzavřeným profilem [35]	37
Obr. 37 Řez prostřední částí zásobníku pro ukázkou energ. řetězu [35]	38
Obr. 38 Schéma rotačního zásobníku pro výpočet momentu setrvačnosti [35]	39
Obr. 39 Schéma pro statický rozbor [37]	42
Obr. 40 Výpočtové prostředí SKF [38]	44
Obr. 41 Schéma pro výpočet převrácení [37]	45
Obr. 42 Schéma ramene na koruně zásobníku [37]	47
Obr. 43 Výpočet šroubu u ramene v koruně [35]	48
Obr. 44 Schéma jednoho profilu základního kříže [37]	48
Obr. 45 Výpočet šroubu v profilu na základním kříži [35]	49
Obr. 46 Maximální posunutí základny zásobníku [35]	51
Obr. 47 Maximální posunutí koruny [35]	51

11.5 Seznam grafů

Graf. 1 Průběhy polohy, zrychlení, a rychlosti	40
Graf.2 Momentová charakteristika krok. motorů od výrobce JVL [36]	41

12 SEZNAM PŘÍLOH

0_BP_0_00_Palcik	výkres sestavy-rotační zásobník	1-list A0
3_BP_0_02_Palcik	výkres součásti-vložka	1-list A3
Rotacni_zasobnik_Palcik	3D-model zásobníku	1-soubor .step